АЕРОКОСМІЧНІ ОБРІЇ УКРАЇНИ:

історія, наука, інновації

Матеріали
Всеукраїнської
науково-практичної
конференції

м. Харків
14 травня 2026 року

МІНІСТЕРСТВО КУЛЬТУРИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА ОБЛАСНА ВІЙСЬКОВА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ
ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА НАУКОВА БІБЛІОТЕКА
ім. В. Г. КОРОЛЕНКА

АЕРОКОСМІЧНІ ОБРІЇ УКРАЇНИ: ІСТОРІЯ, НАУКА, ІННОВАЦІЇ

Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції

м. Харків, 14 травня 2026 року

Харків 2026

УДК 629.7(477):001:001.895]:005.745"2026.05.14"]ХДНБ(06)
А33

Упорядник: ***Прохорова Ганна Валеріївна***, завідувач відділу науково-інформаційного забезпечення інноваційних процесів Харківської державної наукової бібліотеки ім. В. Г. Короленка

Науковий редактор: ***Петренко Наталя Валентинівна***, директор Харківської державної наукової бібліотеки ім. В. Г. Короленка, заслужений працівник культури України

Затверджено до друку вченою радою
Харківської державної наукової бібліотеки ім. В. Г. Короленка
(протокол № 2 від 25.06 2026 р.)

А33 **Аерокосмічні** обрії України: історія, наука, інновації : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Харків, 14 травня 2026 р. / Міністерство культури України, Харківська обласна військова адміністрація, Департамент освіти і науки, Харківська державна наукова бібліотека ім. В. Г. Короленка ; [упорядник Г. В. Прохорова ; науковий редактор Н. В. Петренко]. – Харків, 2026. – 179 с.

Збірник містить доповіді та повідомлення Всеукраїнської науково-практичної конференції «Аерокосмічні обрії України: історія, наука, інновації», що відбулася 14 травня 2026 року.

Видання адресоване фахівцям аерокосмічної галузі, науковцям, інженерам і дослідникам, а також студентам, аспірантам і викладачам закладів вищої освіти. Матеріали можуть бути корисними всім, хто цікавиться історією, сучасним станом і перспективами розвитку авіації та космонавтики в Україні.

УДК 629.7(477):001:001.895]:005.745"2026.05.14"]ХДНБ(06)

© Харківська державна наукова
бібліотека ім. В. Г. Короленка, 2026

ЗМІСТ

ПРОХОРОВА Г. В. Передмова 5

УШНО І. М. Аерокосмічний імпульс у мистецтві: історико-культурний аспект 11

ЛАРІН А. О., ЖУРИЛО Д. Ю. Внесок вчених та інженерів Харкова у розвиток ракетно-космічної галузі 15

КОЗІН В. С. Повоєнне космічне майбутнє України 26

КАЗАНЦЕВА Л. В. Космічний проєкт «Вега»: український внесок 30

МАСЛИК В. С., ЗАЄЦЬ Е. О., БИРЗУЛ Т. А., ПУШКАРЬ С. Д., ЧИЖ Д. М. Компоновки безпілотних орбітальних прибиральників 36

ОГУРЦОВ О. Б. Дистанційне зондування землі: деякі аспекти історії, сучасного стану та перспектив розвитку як напрямку ракетно-космічної галузі України 57

ПРОКОПЧУК Ю. О. Інженерія когнітивних / автономних платформ: когнітивні технічні системи 67

ВНУКОВ В. О., ГЕРАСІМОВА М. В., РУБЛЬОВА Р. І. Цифрове моделювання, Big Data та інтелектуальні системи управління 79

КРИВОБОК Р. В., ЗАХАРОВ А. В., ВОЛОЩУК В. В. Інноваційні технології отримання радіопрозорої кераміки на основі алюмосилікатів для авіаційної та ракетно-космічної галузі 88

БОРЗОВА В. В. Місто космічної слави 96

МІТІКОВ Ю. О., СУХА І. В. Історія становлення та розвитку дніпровської школи систем наддування паливних баків ракетних двигунів 109

КАЛЕНЧУК І. О., ВАСИЛЕНКО Р. В. Розробка пропозицій щодо впровадження сучасних інерціальних вимірювальних модулів складу інформаційного комплексу вертикалі і курсу ИК-ВК-80-4 124

ОСОВИЦЬКИЙ М. П., ДУМИЧ Ю. В. Імплементація міжнародних стандартів номенклатури швидкостей у практику авіації Повітряних Сил України в контексті євроатлантичної інтеграції 132

РУБЛЬОВ В. І., ОТРЕШКО Н. М., РУБЛЬОВА Р. І. Інтегральна оцінка технічного рівня транспортних літаків 142

ЛАЗУТА Р. Р., БИЧКОВСЬКА О. В. Пропозиції з організації формування системи космічної підтримки Збройних Сил України на основі стандартів та принципів НАТО 145

ДЕМ'ЯНЕНКО В. Т. Роль цифрових інформаційних ресурсів у збереженні науково-технічної спадщини України 157

БІДА А. Г. Наукові та науково-популярні видання як джерело вивчення у Харкові космічних досліджень 164

ПЕРЕДМОВА

Аерокосмічна галузь України завжди визначала вектор науково-технічного прогресу держави, формуючи підґрунтя для міжнародної співпраці. Сьогодні, в умовах повномасштабної війни, роль галузі трансформувалася: це не просто стратегічний оборонний щит, а уособлення інтелектуальної стійкості та технологічної незалежності України. Саме тому критично важливо підтримувати вітчизняні наукові команди, які, попри постійні загрози, розробляють інноваційні цифрові системи, модернізують авіацію та створюють новітні космічні технології.

Особливого значення в цих умовах набуває збереження історії вітчизняної авіації і космонавтики, популяризація здобутків українських учених, інженерів, конструкторів, дослідників, освітян, а також підтримка молодих науковців і формування просторів для міждисциплінарного наукового діалогу. Саме таким майданчиком стала Всеукраїнська науково-практична конференція «Аерокосмічні обрії України: історія, наука, інновації».

Тематика конференції є винятково значущою в умовах повномасштабної російсько-української війни, коли питання розвитку науки, технологій, оборонного потенціалу, збереження науково-технічної спадщини та підтримки інженерної думки стають не лише складовою наукового поступу, а й важливим чинником національної безпеки та майбутнього держави. Саме аерокосмічна галузь сьогодні демонструє надзвичайну важливість для розвитку сучасних систем зв’язку, навігації, дистанційного зондування Землі, безпілотних технологій, штучного інтелекту та інноваційних матеріалів. Водночас українська аерокосмічна

школа, попри складні виклики воєнного часу, продовжує зберігати свій потужний науковий потенціал, традиції та міжнародний авторитет.

Конференція проводилася 14 травня 2026 року в межах проєкту «Аерокосмічні читання – 2026» і була приурочена до Дня науки в Україні, об’єднавши представників науки, освіти, музейної, бібліотечної сфери, фахівців аерокосмічної галузі, курсантів, студентську молодь, усіх, кого цікавить історія, сучасний стан та перспективи розвитку української авіації й космонавтики.

Традиційно колектив відділу науково-інформаційного забезпечення інноваційних процесів Харківської державної наукової бібліотеки ім. В. Г. Короленка (ХДНБ ім. В. Г. Короленка) є організатором такого заходу для сприяння формуванню відкритого наукового діалогу між представниками різних установ, поколінь і професійних спільнот. Особливим аспектом стало те, що конференція об’єднала як провідних учених і практиків галузі, так і молодих дослідників, які лише розпочинають свій шлях у науці.

З вітальними словами до учасників наукового заходу звернулися К. Вірютіна, заступник директора з бібліотечної роботи ХДНБ ім. В. Г. Короленка, та Н. Сухорукова, головний спеціаліст відділу науки, вищої та професійної освіти Департаменту науки і освіти Харківської обласної військової адміністрації, які підкреслили актуальність тематики конференції, її значення для розвитку аерокосмічної галузі України й важливість підтримання наукових ініціатив у сучасних умовах.

До роботи конференції долучилися учасники з Харкова, Києва, Дніпра, Переяслава, Кременчука, селища Вороновиця Вінницької області та ін. Загалом приєдналося 255 учасників і слухачів, що засвідчило великий інтерес до аерокосмічної тематики, актуальність порушених

проблем і значний запит у суспільстві на наукові комунікації навіть в умовах воєнного часу.

У заході взяли участь представники провідних наукових, культурно-освітніх і музейних установ держави: Національного аерокосмічного університету «ХАІ», Національного технічного університету «ХПІ», Інституту технічної механіки НАН України і Державного космічного агентства України, Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Державного політехнічного музею ім. Бориса Патона при Політехнічному інституті ім. Ігоря Сікорського, Астрономічного музею Астрономічної обсерваторії Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Національного історико-етнографічного заповідника «Переяслав», Вороновицького музею історії авіації та космонавтики.

Конференція охопила надзвичайно широкий спектр питань – від історико-культурного осмислення аерокосмічної тематики до сучасних інженерних розробок, цифрових технологій, дистанційного зондування Землі, когнітивних систем, інноваційних матеріалів, проблем модернізації авіаційної техніки та євроатлантичної інтеграції української авіації.

Представлені доповіді умовно можна об’єднати у кілька тематичних розділів. Перший блок присвячений історико-культурному та гуманітарному осмисленню аерокосмічної галузі. Доповідь І. Ушно «Аерокосмічний імпульс у мистецтві: історико-культурний аспект» продемонструвала вплив космічної тематики на художню культуру XX–XXI століть і засвідчила міждисциплінарний характер сучасних гуманітарних досліджень. Суттєвим продовженням історичного напряму стала доповідь Л. Казанцевої «Космічний проєкт "ВЕГА": український внесок», де розглянуто історію міжнародного космічного проєкту, його

наукові завдання, особливості реалізації та результати досліджень. Особливу увагу доповідачка приділила внеску українських науковців, конструкторів, наукових установ і підприємств у реалізацію програми «ВЕГА», що ще раз підкреслило вагоме місце України в історії світової космонавтики. Промова В. Борзової «Місто космічної слави» та повідомлення А. Біди, присвячене науковим і науково-популярним виданням як джерелу вивчення космічних досліджень Харкова, ще раз підтвердили значущість збереження науково-технічної спадщини України та популяризації історії української космонавтики.

Окремий тематичний напрям конференції становили доповіді, що стосуються розвитку сучасної аерокосмічної науки й техніки. Повідомлення А. Ларіна та Д. Журила висвітлили внесок харківських учених і підприємств у створення систем управління ракетно-космічної техніки. У доповіді В. Козіна «Повоєнне космічне майбутнє України» окреслено перспективи інтеграції української космічної галузі у міжнародний науково-технологічний простір. Надзвичайно актуальними стали розвідки, присвячені дистанційному зондуванню Землі, когнітивним і автономним платформам, цифровому моделюванню і Big Data, що свідчить про активне впровадження технологій штучного інтелекту та цифровізації в аерокосмічну сферу.

Вагоме місце у програмі конференції посіли доповіді інженерно-технічного спрямування. Зокрема, значний інтерес учасників заходу викликали дослідження А. Захарова у сфері радіопрозорої кераміки для авіаційної та ракетно-космічної техніки, І. Каленчука – щодо модернізації навігаційних систем літальних апаратів, а також доповідь Ю. Думича стосовно імплементації міжнародних стандартів у практику Повітряних Сил України. Представлені праці продемонстрували високий рівень

сучасних українських інженерних розробок, виконаних в умовах воєнних викликів.

У межах конференції можна виділити і напрям наукових досліджень, що представили напрацювання з питань організації та розвитку космічної інфраструктури оборонного призначення. У цьому контексті значну зацікавленість аудиторії привернула доповідь Р. Лазути, у якій розглянуто пропозиції стосовно формування системи космічної підтримки Збройних Сил України на основі міжнародних стандартів та принципів НАТО. У дослідженні акцентовано увагу на необхідності інтеграції сучасних космічних технологій у систему оборонного планування, підвищення ефективності інформаційного забезпечення військових операцій та розвитку національних спроможностей у сфері космічної розвідки і зв’язку.

До активної роботи конференції були залучені майбутні науковці. Участь здобувачів освіти Національного аерокосмічного університету «ХАІ» та курсантів Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба підтвердила зацікавленість нового покоління дослідників проблемами аерокосмічної науки, цифрових технологій та інноваційного розвитку. Їхні доповіді продемонстрували високий рівень підготовки, актуальність тематики досліджень та орієнтацію на сучасні глобальні виклики, зокрема автоматизацію та цифрове управління, проблеми утилізації космічного сміття тощо.

Окремої уваги заслуговують доповіді, присвячені цифровізації науково-технічної спадщини та використанню сучасних інформаційних ресурсів у музейній і науково-просвітницькій діяльності. Вони засвідчили, що цифрові технології сьогодні стають важливим інструментом не лише

для розвитку науки, а й для збереження історичної пам’яті, забезпечення доступності знань та популяризації технічної спадщини України у світі.

Доповіді і повідомлення, представлені у виданні в авторській редакції та побудовані на принципах наукової доброчесності, відкритості наукової комунікації. Автори матеріалів несуть повну відповідальність за достовірність наведених даних, наукову коректність, дотримання норм академічної доброчесності, а також за точність цитувань і посилань.

Матеріали у збірнику розміщено відповідно до послідовності виступів учасників під час проведення конференції, що дозволяє відтворити логіку роботи заходу та тематичний розвиток наукового обговорення.

Видання може бути корисним науковцям, викладачам закладів вищої освіти, студентам, курсантам, аспірантам, працівникам музеїв і бібліотек, фахівцям аерокосмічної, авіаційної та оборонної галузей, дослідникам історії науки й техніки, а також усім, хто цікавиться сучасним станом та перспективами розвитку української науки, техніки й інновацій.

Проведення конференції ще раз підтвердило: попри складні виклики сьогодення, Україна зберігає потужний науковий потенціал, високий рівень інженерної школи та прагнення до розвитку сучасних технологій. Аерокосмічна галузь залишається важливою складовою наукового й інтелектуального потенціалу держави, а подібні заходи сприяють зміцненню професійних зв’язків, розвитку міждисциплінарної співпраці та популяризації української науки в суспільстві.

Прохорова Ганна Валеріївна,
завідувач відділу науково-інформаційного
забезпечення інноваційних процесів
ХДНБ ім. В. Г. Короленка

УДК 008+7.03]”19/20”:629.7

Ушно Ірина Михайлівна,
доцент кафедри філософії та суспільних наук,
Національний аерокосмічний
університет «ХАІ», м. Харків

АЕРОКОСМІЧНИЙ ІМПУЛЬС У МИСТЕЦТВІ: ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНИЙ АСПЕКТ

Анотація. *Досліджується вплив розвитку авіації та космонавтики на формування художніх образів, естетичних концепцій і культурних наративів у мистецтві XX–XXI століть. Особливу увагу приділено ролі аерокосмічної тематики в художній культурі модернізму та постмодернізму, а також її відображенню в українському культурному просторі.*

Ключові слова: *аерокосмічна тематика, напрями мистецтва, модернізм, постмодернізм.*

Abstract. *These theses examine the influence of aviation and space exploration on the formation of artistic images, aesthetic concepts, and cultural narratives in 20th–21st century art. Particular attention is given to the role of aerospace themes in the artistic culture of modernism and postmodernism, as well as their reflection in the Ukrainian cultural sphere.*

Keywords: *aerospace theme, art directions, modernism, postmodernism.*

Аерокосмічна тематика посідає особливе місце в історії культури, оскільки поєднує науково-технічний прогрес, філософські уявлення про Всесвіт та художню уяву людини. З найдавніших часів небесні тіла, зоряне небо та уявлення про космос були важливими символами у мистецтві та культурі різних цивілізацій.

До XX ст. космос у мистецтві здебільшого інтерпретувався через міфологічні та релігійні уявлення. У середньовічному та ренесансному

мистецтві небесна сфера виступала символом божественного порядку та гармонії. Проте розвиток астрономії та природничих наук у Новий час поступово змінює уявлення про Всесвіт, що відображається і в художній культурі. У результаті космос починає сприйматися не лише як сакральний символ, але і як об’єкт наукового пізнання та художнього осмислення.

Наприкінці XIX – на початку XX ст. науково-технічний прогрес, зокрема розвиток авіації, суттєво змінює культурну свідомість. Політ стає символом нової епохи, а літак – уособленням швидкості, динамізму та технологічного майбутнього. Одним із найяскравіших мистецьких напрямів, що відображав захоплення технікою та польотом, став футуризм. Представники цього напряму проголошували культ руху, енергії та технічного прогресу. У їхніх творах літак і політ постають символами подолання простору та відкриття нових можливостей для людства.

Водночас у мистецтві з’являються більш абстрактні форми осмислення космічного простору. Зокрема, у творчості Казимира Малевича супрематичні композиції інтерпретуються як художні моделі безмежного простору, що нагадує космічну безкінечність. Це демонструє, що модернізм сформував нову естетику простору, у якій космос і політ стали метафорами наукового та культурного прогресу.

Після Першої світової війни розвиток авіації значною мірою вплинув на архітектуру, дизайн та індустріальну культуру. Нові технології сприяли формуванню естетики функціональності, легкості та аеродинамічних форм. Важливу роль у цьому процесі відіграла школа Баухауз, яка прагнула поєднати мистецтво, архітектуру та інженерію. Архітектори та дизайнери почали використовувати обтічні форми, геометричну простоту та нові матеріали, такі як бетон і скло. Такі естетичні принципи багато в

чому були натхненні саме авіаційними технологіями. У цей період формується так званий аеростиль, що проявляється в дизайні архітектури, транспорту та промислових об’єктів. Обтічні форми, мінімалізм і технічна раціональність стають характерними рисами нової художньої мови.

Аерокосмічна тематика має важливе значення і для українського культурного простору. Україна є одним із центрів розвитку авіаційної та космічної науки, що знайшло відображення не лише в технічних досягненнях, але й у художній культурі. Особливу роль у формуванні культурної уяви про космос відіграла українська наукова фантастика. Одним із її засновників вважається письменник Володимир Владко. У своєму романі «Аргонавти Всесвіту» він описав космічну експедицію на Венеру задовго до початку реальної космічної ери. Вражає точність передбачень автора щодо деяких явищ космічного польоту, зокрема стану невагомості. Цей твір мав значний вплив на формування інтересу до космосу серед читачів-любителів фантастики і науковців. Зокрема, український космонавт Павло Попович згадував, що роман Владка став для нього одним із перших джерел натхнення у зацікавленні космонавтикою. Аерокосмічна тематика в українській культурі постає не лише як наукова або технічна проблема, але і як важливий культурний та уявний простір, що формує світогляд нових поколінь.

Розвиток авіації та космонавтики справив значний вплив на формування художньої культури ХХ століття. Аерокосмічні технології стали потужним імпульсом для появи нових художніх образів, естетичних форм та культурних наративів.

У мистецтві модернізму космос і політ виступали символами прогресу та технологічного майбутнього. У постмодерністській культурі

космічна тематика отримала нові інтерпретації, пов’язані з масовою культурою, науковою фантастикою та критичним осмисленням технологічної цивілізації.

Український культурний контекст також демонструє значний інтерес до аерокосмічної тематики, що проявляється у літературі, науковій фантастиці та культурних наративах про освоєння космосу. Таким чином, аерокосмос можна розглядати як важливий чинник культурної еволюції, який поєднує технічний прогрес, художню уяву та філософське осмислення місця людини у Всесвіті.

Список використаних джерел

1. Прищенко С. Функціоналізм баухаузу та його вплив на розвиток дизайну і реклами (до 100-річного ювілею) // Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв. 2019. № 4. С. 71–76. DOI: https://doi.org/10.32461/2226-3209.4.2019.191335 (дата звернення: 20.01.2026).

2. Сидор О. Культурна політика футуризму на Венеційських бієнале та її значення для наших днів // Мистецтвознавство України : збірник наукових праць. – Київ : Фенікс, 2014. № 14. С. 203–206.

3. Турчак Л. І. Творчість К. Малевича в контексті розвитку світової та вітчизняної художньої культури // Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв. 2021. № 2. С. 65–74.

4. Ушно І. Homo Aerospace: Philosophical Reflections on Humanity’s Future in Space // Філософія та космологія. 2024. Т. 33. С. 162–173. DOI: https://doi.org/10.29202/phil-cosm/33/7 (дата звернення: 20.01.2026).

УДК 629.78:681.5](092)(477.54-25)

Ларін Андрій Олексійович, кандидат технічних наук;
Журило Дмитро Юрійович, доцент, кандидат технічних наук,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

ВНЕСОК ВЧЕНИХ ТА ІНЖЕНЕРІВ ХАРКОВА У РОЗВИТОК РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ

Анотація. *Розглядається внесок харківських вчених та інженерів Державного науково-виробничого об'єднання «Комунар», КБ «Електроприладобудування» та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у проєктування і виробництво систем управління ракетно-космічної техніки.*

Ключові слова: *космічна галузь, космічні летальні апарати, ракета-носій, бойова балістична ракета, системи управління польотами.*

Abstract. *The report examines the contribution of Kharkiv scientists and engineers of the State Scientific and Production Association «Kommunar», design bureau «Electro-Instrumentation» and the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» to the design and production of control systems for rocket and space technology.*

Keywords: *space industry, space vehicles, launch vehicle, combat ballistic missile, flight control systems, spacecraft.*

Коли заходить мова про ракетно-космічну галузь України, насамперед згадують про найбільший ракетний завод – Південний машинобудівний (Південмаш – ВО ПМЗ, або завод № 586), заснований 1944 року в Дніпропетровську (нині м. Дніпро) як автомобільний і перепрофільований 1951-го в ракетний. При заводі було створено спеціальне конструкторське бюро ОКБ-586 (КБ «Південне»). Саме в цьому

КБ розроблялися, а потім на заводі будували найбільші міжконтинентальні балістичні ракети (МБР), які служили основою ракетно-ядерного щита СРСР. Саме там була створена ракета, що занесена до книги рекордів Гіннесса як найпотужніша у світі. Це МБР Р-36-2М-УТТХ, або виріб 15А18М. А за класифікацією НАТО вона отримала назву *SS*-18 «*Satan*»[1], тобто знаменита «Сатана».

Діяльності дніпропетровських ракетобудівників присвячено безліч праць, у т. ч. монографії про провідних конструкторів ракетно-космічної техніки (РКТ): М. К. Янгеля [1], В. С. Будника [2], В. Ф. Уткіна [3], С. М. Конюхова [4] та Ю. С. Алексєєва [5]. Трудовій діяльності КБ «Південне» присвячені публікації, видані до ювілейних дат підприємства [6–8].

Однак мало хто знає, що унікальні системи управління (СУ) для цих бойових ракет, а також для космічних літальних апаратів проєктувалися і серійно випускалися в Харкові. СУ є найважливішою частиною космічної або бойової балістичної ракети, і від неї залежить успіх застосування ракети. При цьому історію розробки та виробництва СУ в Україні вивчено недостатньо. Наявні праці з історії харківських підприємств – Науково-технічного спеціального конструкторського бюро (СКБ) «Полісвіт», що є філією Державного науково-виробничого об’єднання (ДНВП) «Комунар» [9] та КБ «Електроприладобудування» (КБЕ, або ОКБ-692, з 1995 р. НВО «Хартрон-Аркос») [10] є хронікою дат і подій і містять

[1] У Радянському Союзі було прийнято подвійне позначення бойових балістичних ракет – у надсекретних документах буква «Р» та номер ракети. Поряд з цим, ракеті також присвоювався індекс Головного ракетно-артилерійського управління – буквено-цифрове позначення, що не несло жодної інформації. А у блоці НАТО були прийняті свої позначення, які не мають нічого спільного з нашими – літери *SS* і номер ракети, а також власне ім'я, що завжди починається з літери «*S*».

цікаву інформацію, що супроводжується барвистими ілюстраціями. Однак у них, на жаль, немає глибокого аналізу взаємозв'язків розвитку підприємств і всієї вітчизняної та зарубіжної науки і техніки. До того ж ці видання поширювалися в основному серед працівників підприємств, вони не представлені в інтернеті, а тираж їх дуже невеликий. Особливо можна відзначити колективну монографію, присвячену життєвому та творчому шляху Головного конструктора систем управління Володимира Григоровича Сергєєва (1914–2009) [11]. Найбільш повно історію створення унікальних систем управління для РКТ виклав у своїх спогадах А. С. Гончар (1925–2003), який багато років працював у КБЕ [12]. Андрій Савович був Головним конструктором системи управління транспортного корабля постачання ракетно-космічного комплексу «Алмаз», а також комплексу автономного управління надважкої ракети-носія «Енергія».

Однак опубліковані спогади А. С. Гончара є винятком. Таким чином, вивчення історії РКТ та участі в цьому процесі провідних підприємств Харкова є найважливішою складовою сучасної історії науки та техніки. З огляду на це актуальною стала науково-дослідна робота на тему: «Історія створення систем управління ракетно-космічною технікою в НВО «Хартрон», що виконувалась інженером НТУ «ХПІ» Світланою Олександрівною Горєловою. Ще одним джерелом для вивчення цієї теми стали фонди музеїв «Комунара» і «Хартрона» [13].

Зі зрозумілих причин усі роботи про створення СУ були суворо засекречені і навіть після розпаду СРСР доступ до більшості документів є закритим. Тому найважливішим джерелом для дослідження стали спогади учасників робіт – провідних співробітників НВО «Комунар» та ОКБ-692.

С. О. Горєлова провела бесіди зі співробітниками, які брали участь у найважливіших роботах зі створення СУ бойовими ракетами та космічними літальними апаратами. Частину з цих інтерв'ю було задокументовано та здано до Центрального державного науково-технічного архіву України (ЦДНТА України), де створено фонд 251 «Усно-історичні документи з історії науки і техніки» [14]. Робилося це для того, щоб надати цим інтерв'ю характеру справжнього документа і забезпечити допуск до них іншим дослідникам. Таким чином, інтерв'ю з провідними співробітниками ОКБ-692, а саме з А. М. Калногузом, Ю. О. Кузнєцовим, В. Я. Макаренко, В. Г. Сухоребровим і В. О. Ураловим, присвячені діяльності підприємства в період з 1959 до 1988 року, набули статусу офіційних документів і були здані на вічне державне зберігання [15].

Серійне виробництво бойових балістичних ракет у СРСР почалося 1951 року. На Південмаші було організовано випуск ракети Р-1 (8А11, за класифікацією НАТО *SS*-1 «*Scunner*»). Для масового виробництва систем управління ракет Р-1 було виділено харківський завод «Електроінструмент», перейменований на завод № 897 (відкрита назва – завод «Комунар»). Він став першим заводом у країні з серійного виробництва апаратури бортових автономних СУ та наземного випробувального пускового електрообладнання (ВПЕО) ракетних комплексів. Директором заводу був призначений Володимир Никандрович Куликов, а Головним конструктором – Абрам Маркович Гінзбург. Уже на початковому етапі виробничники стикнулися з великою кількістю технічних проблем, вирішувати які потрібно було оперативно на місці, а не чекати на допомогу від центральних КБ та НДІ. У зв'язку з цим на заводі

№ 897 з 1 січня 1952 р. було організовано спеціальне конструкторське бюро (СКБ-897), яке також очолив Гінзбург [9, с. 18–21].

Першим важливим досягненням СКБ-897 стала його участь у розробці системи управління першою в країні ракетою середньої дальності Р-12 (8К63, або *SS*-4 «*Sandal*»). Ця робота проводилась спільно з Головним інститутом із систем управління балістичних ракет далекої дії та зенітних ракет (НДІ-885). У ракеті Р-12, Головним конструктором якої був М. К. Янгель, вперше використовувалися висококиплячі компоненти палива, де окислювачем є азотна кислота. Це дало можливість, на відміну від ракет, у яких окислювачем служить кисень, використовувати шахтне базування старту ракет і тривале її зберігання в готовому для запуску стані. Саме для ракети Р-12 вперше було створено повністю автономну інерційну СУ (до цього використовувалася система радіокорекції).

Як єдиний в країні серійний виробник апаратури систем управління ракет, завод «Комунар» в 1958 р. отримав завдання на випуск бортової і наземної апаратури СУ ракети Р-7 (8К71). Завдання стало і для заводу, і для СКБ доленосним, тому що в подальшому модифікації бойової ракети Р-7 використовувалися для запуску штучних супутників Землі. Так, ракетою Р-7А (8К74), оснащеною додатковим блоком третього ступеня, 4 жовтня 1957 р. був виведений на навколоземну орбіту перший супутник Землі. Через місяць, 3 листопада, відбувся політ із собакою на ім’я Лайка на борту. Наступна модифікація «Сімки» дозволила доставити на Місяць вимпел з гербом СРСР (12.09.1959) і здійснити обліт Місяця, сфотографувавши його зворотний бік (04.10.1959). Ця ж ракета 12 квітня 1961 р. вивела на орбіту перший пілотований космічний корабель «Восток-1» з льотчиком-космонавтом Ю. О. Гагаріним [9, с. 34–39]. Серед

виробів СКБ «Комунар» СУ триступеневої універсальної ракети УР500 («Протон»), на яку завод виготовляв 80% загальної кількості приладів (49 одиниць). У 1969 р. ракета «Протон» доставила на Місяць самохідні апарати «Лунохід» та «Лунохід-2». У 1980-х рр. з модулів, виведених на навколоземну орбіту «Протоном», була зібрана космічна станція – лабораторія «Мир-2» масою 130 тонн, яка пропрацювала на орбіті понад 15 років – до квітня 2001 року.

Ще одним напрямом робіт ВО «Комунар» стало створення наземних комплексів для випробування космічних кораблів, включаючи передстартову підготовку. З 1977 р. підприємство випускає універсальний контрольно-реєструючий автоматизований наземний комплекс «Кипарис» для випробувань різних об’єктів контролю. До 1991 р. завод виготовив 34 комплекти цієї апаратури. Саме вона забезпечила проведення випробувань багаторазового корабля «Буран» на всіх стадіях підготовки до польоту, який відбувся 15 листопада 1988 р. Усього за 50 років існування підприємства ракети, оснащені виготовленою на «Комунарі» бортовою апаратурою СУ та запущені за допомогою виготовленого там же наземного ВПЕО, вивели на навколоземні орбіти понад 3500 космічних кораблів різного призначення. Серед них – понад 250 пілотованих [9, с. 114].

Наступним підприємством, про яке треба сказати, є ОКБ-692. Історія цього підприємства починається з розробки в КБ «Південне» під керівництвом М. К. Янгеля двоступінчастої міжконтинентальної балістичної ракети (МБР) Р-16 (8К64, *SS*-7 «*Saddler*»), призначеної для наземних стартових комплексів. Щоб забезпечити захист ракети від перешкод, Головний конструктор ОКБ-586 вирішив оснастити її

інерційною СУ. Він звернувся до уряду з пропозицією про організацію у Харкові нового ОКБ з розробки СУ.

У квітні 1959 р. на базі СКБ-897 і СКБ-285 було створено нове особливе конструкторське бюро – ОКБ № 692, яке мало стати головним науково-дослідним і дослідно-конструкторським підприємством, що здійснює координацію робіт зі створення систем управління для ракет, розроблених в ОКБ-5. Ядром підприємства став колектив, що перейшов із СКБ-827, очолюваний А. М. Гінзбургом, який став заступником Головного конструктора ОКБ-692. Керівником та Головним конструктором був призначений Борис Михайлович Конопльов. За кілька років до створення ОКБ-692 відбувалося активне зростання підприємств, що згодом склали його ядро: СКБ-897 та ОКБ-285 харківського заводу ім. Шевченка. У цей час на роботу були прийняті майбутні відомі творці РКТ: В. К. Копил – керівник приладового відділення, що створював бортову та наземно-пускову апаратуру; А. С. Гончар – Головний конструктор системи управління ракети «Енергія»; С. С. Корума та В. Д. Стадник – висококласні балістики, ідеї яких забезпечували неймовірну точність влучення ракет у ціль; А. І. Кривоносов – творець високонадійної апаратури, В. О. Уралов – Головний конструктор СУ багатьох бойових ракет і Б. М. Конорєв – творець системи програмування, що не мала аналогів у СРСР [16].

Створення СУ ракети Р-16 стало першим серйозним завданням нового ОКБ. Уперше у вітчизняній практиці пропонувалося розробити автономну СУ на базі тривісної гіростабілізованої платформи з встановленими на ній у площині стрільби гіроінтеграторами. Управління дальністю стрільби здійснювалося на основі електромеханічного лічильно-

вирішального приладу. З випробуваннями ракети Р-16 пов’язана найбільша в історії РКТ катастрофа, що сталася 24 жовтня 1960 р. Тоді загинули 78 чоловік, у тому числі Головний Маршал артилерії М. І. Недєлін і Головний конструктор системи управління Б. М. Конопльов. Головним конструктором ОКБ-692 став Володимир Григорович Сергєєв, який обіймав цю посаду до 1986 року. У жовтні 1961 р. за документацією ОКБ-692 розпочалося серійне виробництво апаратури системи управління ракети Р-16. Вона стала першою балістичною ракетою великої дальності (до 13 000 км), що має короткий час підготовки до пуску (18 хв) і радіус розсіювання не більше 10 км. Саме ця ракета дозволила створити в СРСР Ракетні війська стратегічного призначення. У середині 1960 р. ОКБ-692 було призначено головною організацією з розробки комплексу СУ для ракети-носія 63С1. 16 березня 1961 р. цією ракетою було виведено на орбіту супутник «Космос-1», розроблений в ОКБ-586. З цим пуском закінчилася монополія ОКБ-1 як на засоби запусків, так і на штучні супутники Землі [10]. Так харківські підприємства стали не лише найбільшими серійними виробниками систем управління, а Харків – найважливішим центром розробки ракетно-космічної техніки.

Створення ракет великої дальності викликало необхідність розробки бортових систем управління. У 1970-х роках в ОКБ-692 було створено першу в СРСР бортову цифрову електронну обчислювальну машину (БЦОМ). Її використання стало революційним кроком у розробці СУ ракет і КЛА. На основі БЦОМ в ОКБ-692 було розроблено перевірочно-пускову систему «Електронний пуск», призначену для передстартової перевірки систем управління міжконтинентальних балістичних ракет і ракет-носіїв.

Комплекс дозволяв моделювати не тільки політ ракети, а й реакцію системи управління на вплив різних факторів, що обурюють [17]. Усього в ОКБ-692 були створені системи управління для чотирьох поколінь міжконтинентальних балістичних ракет, трьох поколінь космічних ракет-носіїв, багатьох типів штучних супутників землі та космічних апаратів. Серед них – СУ найпотужнішої у світі бойової ракети Р-36 М2 УТТХ, ракет-носіїв «Енергія» і «Циклон», орбітальних моделей «Квант», «Квант-2», «Кристал», «Природа», «Спектр», понад 150 супутників серії «Космос» та інших об’єктів. Крім того, ОКБ-692 також є провідним розробником бортових і наземних обчислювальних комплексів для різних типів ракет і космічних апаратів [16].

Розглядаючи внесок Харкова в розвиток ракетно-космічної галузі, потрібно також згадати Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», багато випускників якого працювали у цій сфері. Серед них можна виділити керівника розробки орбітального багаторазового корабля «Буран» Гліба Євгеновича Лозіно-Лозинського (1909–2001), випускника 1930 р. та Володимира Олександровича Уралова – Головного конструктора СУ ракет стратегічного призначення, у т. ч. славетної «Сатани» [18].

У ХПІ виконували роботи зі створення РКТ. Зокрема, на кафедрі динаміки та міцності машин проводилися розрахунки передньої стійкі шасі «Бурану», а також керамічного покриття корабля. Група співробітників Інституту проблем машинобудування і ХПІ, очолювана Анатолієм Миколайовичем Підгорним і Вадимом Васильовичем Бортовим, створила унікальну космічну конструкцію, що розгортається, з оптимальними жорстко-ваговими характеристиками для першої в історії багатомодульної

науково-дослідної орбітальної станції «Мир». Трансформована конструкція з легкого металу, що розкладається до 50-кратних розмірів і дозволяє за лічені години «будувати» в космосі нові відсіки, не має аналогів у світовій практиці [19].

І ще одна славна сторінка в участі НТУ «ХПІ» у розвитку ракетно-космічної галузі. У 1964 р. на інженерно-фізичному факультеті розпочато підготовку фахівців у галузі систем управління ракетами та космічними літальними апаратами. Випадкова зустріч у поїзді генерального конструктора КБЕ Володимира Григоровича Сергєєва та професора кафедри «Динаміка та міцність машин» Арега Варшаковича Дабагяна посприяла відкриттю в ХПІ спеціальності «Динаміка польоту та управління» і створенню кафедри «Автоматичне управління рухом». Ця спеціальність була засекреченою, а всі випускники скеровувалися працювати у КБЕ, де вони зробили великий внесок у розробку СУ РКТ [20].

Список бібліографічних посилань

1. Платонов В. Янгель – создатель оружия выживания. Днепропетровск : ИМА-пресс, 2011. 528 с.

2. Будник В. С. Дело всей жизни / под общей редакцией А. В. Дегтярева. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2008. 560 с.

3. Уткин В. Ф. Звёзды Генерального конструктора / под общей редакцией А. В. Дегтярева. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2013. 672 с.

4. Конюхов. К 75-летию со дня рождения / Государственное предприятие «Конструкторское бюро "Южное" имени М. К. Янгеля» ; под общей редакцией А. В. Дегтярева. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2014. 256 с.

5. Космический лидер. К 65-летию со дня рождения Ю. С. Алексеева / авторы-составители: В. І. Копейко, Е. І. Кузнецов, Н. А. Митрахов. Киев : ГКА Украины, 2014. 240 с.

6. Ракеты и космические аппараты Конструкторского бюро «Южное» / под общей редакцией С. Н. Конюхова. Киев : КИТ, 2004. 260 с.

7. Призваны временем. От противостояния к международному сотрудничеству / под общей редакцией С. Н. Конюхова. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2009. 832 с.

8. Шестьдесят лет в ракетостроении и космонавтике / под общей редакцией А. В. Дегтярева. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2014. 160 с.

9. Страницы истории НТ СКБ «Полисвит» Производственного объединения «Коммунар». 1952–2002 гг. / В. Т. Грищенко, В. А. Остапченко, Н. Ф. Сидоренко и др. Харьков, 2001. 412 с.

10. Научно-производственное предприятие «Хартрон-Аркос». Хроника дат и событий. 1959–2005 гг. 2-е издание, дополненное. Харьков : НПП «Хартрон-Аркос», 2006. 212 с.

11. Сергеев В. Г. – Главный конструктор систем управления. Харьков : ПАО «Хартрон», 2014. 448 с.

12. Гончар А. С. Звёздные часы ракетной техники : воспоминания. Харьков : Факт, 2008. 400 с.

13. Горелова С. А. Достижения космической отрасли Украины в музеях харьковских предприятий // Вестник Национального технического университета «ХПИ». 2009. Вып. 29. С. 26–36.

14. Балышев М. А., Горелова С. А., Ларин А. А. Устные источники в изучении истории развития ракетно-космической техники // Вісник Дніпропетровського університету. 2016. № 24. С. 130–134.

15. ЦДНТА України. Ф. 251, група-комплекс 5-1. Оп. 1. Од. зб. 2, 4, 7, 9, 12, 15.

16. Горелова С. А., Ларин А. А. НПО «Хартрон» – ведущее предприятие по разработке систем управления космическими летательными аппаратами // Вісник Дніпропетровського університету. 2011. № 1/2. С. 172–176.

17. Горелова С. А. История создания бортовой вычислительной машины и системы проверки «Электронный пуск» на НПО «Хартрон» // Вестник Национального технического университета «ХПИ». 2009. Вып. 48. С. 17–29.

18. Горелова С. А., Ларин А. А. Выпускники Харьковского политехнического института в ракетно-космической отрасли // Матеріали VIII наукових читань «Дніпровська орбіта – 2013». Дніпропетровськ, 2013. С. 27–32.

19. Горелова С. А., Ларин А. А. Вклад Харьковского политехнического института в развитие ракетно-космической техники // Матеріали VII наукових читань «Дніпровська орбіта – 2012». Дніпропетровськ, 2012. С. 26–31.

20. Динамика полёта и управление: 50 лет в ХПИ / Д. В. Бреславский, В. Б. Успенский, А. А. Ларин и др. Харьков : НТУ «ХПИ», 2014. 488 с.

УДК 629.7”366”(477)

Козін Валерій Станіславович,
старший науковий співробітник,
Інститут технічної механіки Національної академії наук України
і Державного космічного агентства України, м. Дніпро

ПОВОЄННЕ КОСМІЧНЕ МАЙБУТНЄ УКРАЇНИ

Анотація. *Викладено погляд на перспективи існування ракетно-космічної галузі України на основі історії контактів співробітників ДКБ «Південне» з європейськими ракетно-космічними організаціями і потенційними замовниками з інших країн.*

Ключові слова: *штучний супутник Землі, ракети «Аріан», стартовий прискорювач бустер, космодром Куру.*

Abstract. *A look is expounded to the prospects of space-rocket industry of Ukraine existence on the basis of history contacts of Design office «Yuznoye» employees with European space-rocket by organizations and target accounts from other countries.*

Keywords: *artificial Earth satellite, Ariane rockets, launch booster, Kourou spaceport.*

Сучасний стан космічної галузі України потребує довготривалих грошових надходжень для відновлення зруйнованих підприємств і споруд, створення нових технічних рішень і виробництв. Заробляти ці кошти доведеться комерційними запусками іноземних штучних супутників Землі, насамперед – латиноамериканських. Досвід спілкування з цими країнами співробітників ДКБ «Південне» показав, що в минулі роки Чилі, Аргентина, Бразилія не мали напружених космічних програм. Виготовляються поодинокі супутники часто університетських розробок. Відповідно, для їх запусків доведеться шукати (навіть у музеях) балістичні міжконтинентальні ракети діаметром від 3,0 до 3,8 м, оснащувати їх, пристиковувати до них третій ступінь від ракети «Циклон-4». Пробляти питання, пов'язані із запусками цих ракет з космодрому Куру. Французькі, а точніше – європейські, ракети «Аріан» від 1 до 4 мали діаметри 3,8 м і тільки «Аріан-2» злітала без бокових стартових твердопаливних прискорювачів – бустерів. Можливо, стартова позиція цієї ракети підходить для запусків ракет ДКБ «Південне». Питання про запуски ракет «Циклон-2» порушувалося приблизно 30 років тому під час поїздок представників ДКБ «Південне» до Франції. Випробувачі підприємства знайомилися із засобами телеметричних і зовнішньотраєкторних вимірювань космодрому у Французькій Гвіані, коли стояло питання про запуски ракет «Циклон-4» з Алькантари. Ті, хто виступав за запуски ракет з бразильського космодрому, погано собі уявляли, скільки тисяч сталевих кутків треба зварити між собою, щоб утворити фермові щогли обслуговування ракети на відкритому старті, скільки треба підвести до стартового столу заправних магістралей, електричних дротів і кабелів. Під час 7-ї науково-технічної конференції у ДКБ «Південне» французька

делегація пропонувала запускати українські ракети з Куру. Ракети «Аріан» стартують, використовуючи ті ж самі компоненти рідкого ракетного палива – гептил і аміл. Відповідно, космодром має всю необхідну інфраструктуру.

Безумовно, в таких випадках виникає питання про фінансування підготовки до запусків. Під запуски ракет «Аріан» залучаються гроші конгломератів французьких інвестиційних фондів, таких як Лагардер. Але в інвестуванні робіт європейського об'єднання EADS беруть участь і менші інвестиційні фонди, наприклад, іспанський SEPI, співробітники якого можуть розмовляти з латиноамериканцями однією мовою.

Для європейської місячної програми може стати у нагоді досвід України у місячних програмах минулого. Йдеться про можливу модифікацію радянської розробки для місячної програми – посадкового модуля, розробленого під проєктуванням конструктора Корольова у 60-х роках минулого століття. Пілотований місячний корабель мав шість двигуновий ступенів, одним із яких був Блок-Е – ракетно-двигунна установка, створена на дніпровському Південмаші. Блок виступав як двигун коригування курсу, за допомогою якого платформа могла маневрувати в момент поетапного спуску на поверхню супутника Землі [1].

Але момент для вступу України до консорціуму АРІАН ще не настав. «Аріан-6» при проєктуванні позиціонувався як ракета для європейських польотів на Місяць. При цьому вона мала оснащуватися чотирма величезними бічними стартовими прискорювачами типу P230 довжиною до 31 м (по корпусу), діаметром 3,2 м, що містять понад 237 т твердого ракетного палива. Однак льотна експлуатація цих бустерів у

складі ракети «Аріан-5» виявила їх нестійку роботу. Після 60 с польоту в камерах згоряння (КЗ) виникають пульсації тиску з першою модою частоти коливань 20,0–21,0 Гц. Пульсації тиску при перевантаженнях польоту призводять до відшарування теплозахисного покриття ракетного двигуна твердого палива і передаються рідким компонентам палива в баках першого ступеня «Аріан-5», що летить в пакеті з двома прискорювачами. Пульсуючі коливання рідкого палива призводять до нестабільного живлення через трубопроводи турбонасосного агрегата рідинного ракетного двигуна першого ступеня, а далі – до його нестабільної роботи і до пульсацій тяги і питомого імпульсу [2]. З цієї причини «Аріан-6» оснащують твердопаливними стартовими прискорювачами P120C, які в 2027 р. планують замінити бустерами P160C. Нові двигуни відрізняються збільшеним запасом пального – 156 т, що на 14 т більше, ніж у P120C. За рахунок цього їх довжина зросла на 1 м і становить 14,5 м [3]. З двома такими бічними прискорювачами «Аріан-6» буде виводити супутники на середні космічні орбіти, а з чотирма – на високі. Про польоти на Місяць не йдеться.

Причини виникнення пульсацій тиску в КЗ прискорювачів P230 аналізувалися мною спільно з професором Дніпровського університету ім. О. Гончара Галиною Сокол і були опубліковані в статті про можливість представлення твердопаливного прискорювача P230 ракети «Аріан 5» як резонатора Гельмгольца. Цей приклад доводить, що для вчених України є місце для докладання зусиль з вдосконалення європейських космічних ракет.

Так чи інакше, повоєнне космічне майбутнє України буде пов’язане зі співробітництвом з європейськими ракетно-космічними організаціями.

Список бібліографічних посилань

1. Max Polyakov: ESA та Україна: як український космос може допомогти європейському. URL: https://maxpolyakov.com/ua/esa-ta-ukraina-yak-ukrainskyi-kosmos-mozhe-dopomohty-yevropeiskomu (дата звернення: 12.05.2026).

2. Sokol G. I., Kozin V. S. Assessment of the possibility of introducing a solid propellant accelerator P230 of the Ariane 5 rocket as a Helmholtz resonator // Космічна наука і технологія. 2024. № 6. С. 31–35. DOI: 10.15407/knit2024.06.31 (дата звернення: 12.05.2026).

3. Ariane 6 // Wikipedia: the free encyclopedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ariane_6 (дата звернення: 12.05.2026).

УДК 52-025.12(100:477)(091)

Казанцева Лілія Вікторівна,
старший науковий співробітник,
Державний політехнічний музей ім. Бориса Патона
при Політехнічному інституті ім. Ігоря Сікорського,
завідувачка Астрономічного музею Астрономічної обсерваторії
Київського національного університету ім. Тараса Шевченка,
м. Київ

КОСМІЧНИЙ ПРОЄКТ «ВЕГА»: УКРАЇНСЬКИЙ ВНЕСОК

Анотація. *Розглянуто історію космічного проєкту «Вега», наведено його основні завдання, напрямки досліджень, особливості підготовки і проведення космічної програми, отримані результати. Виділено участь українських науковців і конструкторів, установ та організацій у здійсненні проєкту.*

Ключові слова: *історія космонавтики, астрономічні спостереження, космічні дослідження тіл Сонячної системи.*

Abstract. *The history of the Vega space project is considered, its main tasks, research directions, features of the preparation and implementation of the space program, and the*

results obtained are given. The participation of Ukrainian scientists and designers, institutions and organizations in the implementation of the project is highlighted.

Keywords: *history of astronautics, astronomical observations, space research of the bodies of the Solar System.*

Сорок років тому, у лютому–березні 1986 р., центральні газети тодішньої України майоріли промовистими заголовками: «Шлях до комети», «Штурм комети», «Зустріч з кометою Галлея», «Комета Галлея: погляд впритул» [1–4]. Майже щотижня публікувалися замітки та статті про чергове досягнення космонавтики, міжнародну співпрацю в космічній галузі та отримані результати проєкту «Вега». Але за «великими здобутками радянської науки» здебільшого були загублені імена тих, хто здійснював цей проєкт, зокрема й з боку України. З публікацій ЗМІ, пізніших підсумкових наукових статей, музейного фонду спробуємо хоча б частково виділити українську частку в цих дослідженнях.

Багатоцільова міжнародна космічна програма «Вега» об’єднувала наукові експедиції двох радянських міжпланетних автоматичних станцій «Вега-1» та «Вега-2» до планети Венера та комети Галлея, назва проєкту саме й складалася з назв цих двох небесних тіл, що були об’єктом всебічного дослідження (Ве+Га). Космічні апарати стартували з космодрому Байконур 15 та 21 грудня 1984 р. У червні 1985-го вони пройшли поблизу Венери і за допомогою спеціальних аеростатів та посадкових модулів досліджували атмосферу та поверхню планети. Аеростатні зонди дрейфували на висоті близько 54 км і протягом двох діб їхнє переміщення фіксували мережею наземних радіотелескопів. Далі за допомогою гравітаційного маневру станції вийшли на іншу орбіту й

полетіли назустріч кометі Галлея, яка в березні 1986 р. у 30 раз за час астрономічних спостережень саме наблизилася до Землі, бо цю космічну гостю земляни можуть побачити раз на 74–79 років. Згодом до досліджень комети приєдналась європейська міжпланетна станція «Джотто» та японські станції «Сусей» та «Сакігаке». Завдяки приладам, що працювали на станціях, були одержані перші зображення ядра комети, уточнено її хімічний склад, отримано дані про взаємодію кометної плазми з сонячним вітром. Уся інформація передавалася на Землю в режимі реального часу, за отриманими знімками були оцінені розмір ядра комети, її форма та відбивальні властивості, спостерігалися складні процеси всередині газової та пилової коми. Максимальне зближення станції «Вега-1» з кометою відбулося на відстані 8879 км, а «Веги-2» – 8030 км від її ядра.

Міжпланетні автоматичні космічні апарати «Веги» передали на Землю понад 1500 знімків внутрішніх областей комети Галлея та її ядра, вперше була отримана інформація про пилові умови всередині комети, виміряні характеристики плазми та темпи випаровування криги (40 т/с в момент прольоту «Вег») та інші дані. Апарати виявили наявність складних органічних молекул в структурі хвоста комети.

Результати програми на той час були вражаючими. Але політ до Венери вже не був новинкою. Перший космічний апарат відправлений до Венери у лютому 1961 р., а «Венера-4» у жовтні 1967-го доставила на планету сферичний спускний апарат, який протягом 94 хв за допомогою парашутної системи опускався на нічній стороні Венери.

Найважчим завданням проєкту «Вега» виявився розрахунок польоту станцій до комети. Ядро комети Галлея має нерівну форму розмірами приблизно 15×8×8 км, ще й відбиває лише 4% світла, що робить комету

майже невидимою здалеку. Щоб забезпечити зустріч міжпланетних станцій з кометою в заданий час та у певному місці космічного простору, починаючи з моменту першого виявлення комети наземними телескопами, її спостереження проводились понад 200 обсерваторіями в 54 країнах світу. Для цього було створено організацію «Міжнародна вахта комети Галлея» (IHW), схвалену Міжнародним астрономічним союзом (МАС) у серпні 1982 р. IHW організували на базі двох керівних центрів – у Пасадені (США) і Гамбурзі (ФРН) [5].

Обидві «Веги» і комета Галлея рухалися назустріч зі швидкістю, що перевищувала 70 км/с. Якби апарати запізнилися хоча б на годину, то відхилення при зближенні склало б близько 100 тис. км. Складність полягала ще і в тому, що заздалегідь неможливо було розрахувати траєкторію руху комети з належною точністю. Для наземної астрометричної підтримки в СРСР була розроблена і реалізована з ініціативи Головної астрономічної обсерваторії Академії наук України «Радянська програма дослідження комети Галлея» (РаПроГ, відома як російська СОПРОГ), у якій взяли участь 22 астрономічні установи країни. З українського боку – Головна астрономічна обсерваторія Академії наук України з її Болівійською спостережною станцією, Лабораторія космічних досліджень Ужгородського університету та кафедра астрономії й Астрономічна обсерваторія Київського університету ім. Т. Шевченка. Керував проєктом РаПроГ академік Академії наук України Я. С. Яцків, а організацією візуальних спостережень в країні опікувався співробітник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, один із організаторів Групи комет К. І. Чурюмов, редактор Кометного циркуляру [6]. Було отримано понад 10 тис. точних положень комети з похибками,

сумісними з точністю наведення космічних апаратів. Уточнення орбіти комети тривало аж до проходження «Веги-1» та «Веги-2» повз її ядро. А завдяки інформації, отриманій від них, вдалося точніше підвести до комети європейський апарат «Джотто» (на відстань 596 км) за міжнародним проєктом «Лоцман».

На станціях «Вега» працювало багато приладів, які були сконструйовані та виготовлені в різних країнах світу. Над втіленням проєкту працювали фахівці з Австрії, Болгарії, Німеччини, Польщі, Угорщини, Франції, Чехословаччини та СРСР. Серед них були й українці.

У Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка (м. Львів) виготовили апаратуру для досліджень плазмових хвиль (пристрої для спектроскопії, мас-спектрометрії, оптичних і плазмових вимірювань). Крім того, Інститут кібернетики АН України розробив систему керування та збору інформації «Дельта» в спеціальному конструкторському бюро математичних машин і систем [7]. Основні автори «Дельти» – брати-близнюки В. та М. Діанови і А. Канівець були присутні на першому тригодинному сеансі зі станцією «Вега-1», коли вона пролітала на мінімальній відстані від космічного об’єкта. Інформація, на обробку якої раніше йшли роки, надходячи по декількох каналах, оброблялася миттєво завдяки київським фахівцям. Хоча сам радіосигнал від станції доходив лише за 9,5 хв, враховуючи відстань. Зі спогадів, які залишив А. Канівець, київський комп’ютер так сильно відрізнявся від систем, що стояли на той час в Центрі управління польотами та були і формою, і розмірами схожі на піаніно, що західні журналісти, які були присутні на тому першому сеансі з «Вегою», поспішили повідомити про американський новітній комп’ютер. Тим паче, що київські програмісти потурбувалися виводити на дисплей

всю інформацію англійською мовою, врахувавши, що проєкт міжнародний.

На жаль, публікацій українських авторів за тематикою проєкту «Вега» не так вже й багато. Можливо, цю весняну наукову подію 1986 року затьмарила Чорнобильська катастрофа, що сталася невдовзі. Тому дослідження історії внеску українських науковців в описаний вище проєкт варто продовжити досліджувати.

Список бібліографічних посилань

1. Мозжорин Ю. Путь к комете. Проект «Вега»: наш комментарий // Правда. 1986. № 107. С. 3.
2. Губарев В. Штурм кометы Галлея // Правда. 1986. № 71. С. 3.
3. Сагдеев Р. Встреча с кометой Галлея // Правда. 1986. № 126. С. 3.
4. Комета Галлея: взгляд в упор // За рубежом. 1986. № 57. С. 21.
5. Newburn R. L. Jr. The International Halley Watch // Cometary Exploration / ed. T. I. Gombosi. Budapest : Central Research Institute for Physics, Hungarian Academy of Sciences, 1983. Vol. III. P. 19–32.
6. Яцків Я. С. З історії космічних досліджень в Україні. 2. Міжнародне співробітництво щодо мирного дослідження й освоєння космосу (1957–1987 рр.) // Космічна наука і технологія. 2023. Т. 29, № 2. С. 97–111.
7. Грицик С. «Дельта» – інструмент пізнання // Прапор комунізму. 1986. № 97. С. 2.

УДК 528.8:623.7](477)

Маслик Вікторія Сергіївна, здобувачка освіти;
Заєць Ельвіра Олександрівна, здобувачка освіти;
Бирзул Таїсія Андріївна, здобувачка освіти;
Пушкарь Святослав Денисович, здобувач освіти;
Чиж Дар'я Михайлівна, здобувачка освіти,
Національний аерокосмічний університет «ХАІ», м. Харків

КОМПОНОВКИ БЕЗПІЛОТНИХ ОРБІТАЛЬНИХ ПРИБИРАЛЬНИКІВ

Анотація. *Розглянуто компоновки та використання орбітальних безпілотних літальних апаратів у екологічно-очисних цілях застосування.*

Ключові слова*: електрореактивні двигуни, екологічні проблеми, космічне сміття, багаторазові космічні апарати.*

Abstract. *The design and usage of orbital unmanned aerial vehicles for environmentally friendly applications are considered.*

Keywords: *electric jet engines, environmental issues, space debris, reusable spacecraft.*

Екологічні проблеми космічної діяльності в останні роки стають дедалі актуальнішими через стрімке зростання кількості запусків і супутників на орбіті. За даними UNEP, ScienceDirect та SciSpace, космічна індустрія формує кілька основних типів впливу на довкілля: утворення космічного сміття, забруднення атмосфери продуктами згоряння та викиди під час запусків ракет. Зокрема, під час згоряння супутників і ракетних ступенів у верхніх шарах атмосфери утворюються металеві аерозолі (алюміній, мідь, літій), які можуть впливати на озоновий шар і кліматичні процеси. Дослідження показують, що значна частина цих частинок уже

накопичується у стратосфері. Додатковою проблемою є те, що тисячі супутників мають короткий термін служби (приблизно 3–7 років), після чого вони масово згорають або стають сміттям. Наприклад, великі супутникові угруповання зв’язку (як-от тисячі апаратів типу Starlink) створюють постійний потік об’єктів, які входять в атмосферу. Крім того, відпрацьовані ступені ракет, зокрема Falcon 9, а також уламки після місій регулярно повертаються в атмосферу, збільшуючи рівень забруднення. UNEP також підкреслює, що космічне сміття становить загрозу не лише для космосу, а й опосередковано для Землі, оскільки може спричиняти каскадні зіткнення (ефект Кесслера), що ще більше ускладнює ситуацію.

Рис. 1. Масштаби засмічення орбіти Землі

Одним із ключових рішень цих проблем є розвиток багаторазових космічних апаратів, які описані в джерелах Mars on Earth Project, NASA та наукових статтях (EBSCO, ScienceDirect). Багаторазові системи

дозволяють значно зменшити кількість відходів, оскільки замість повного згоряння або залишення на орбіті апарат повертається на Землю і використовується повторно. Класичним прикладом є програма Space Shuttle, де орбітальний корабель і твердопаливні прискорювачі використовувалися багаторазово, хоча зовнішній паливний бак все ж згорав у атмосфері. Іншим прикладом є вантажні кораблі, які частково багаторазові або поєднують повторне використання з контрольованим згорянням (наприклад, Cygnus знищується разом із відходами, тоді як інші системи можуть повертатися). Також зазначається, що багаторазові апарати потребують складних теплозахисних систем (heat shields), які витримують екстремальні температури під час входження в атмосферу – саме ці технології активно розробляються NASA. Таким чином, багаторазове використання є важливим фактором зменшення кількості запусків нових ракет і, відповідно, зменшення загального екологічного навантаження.

Рис. 2. Захоплення космічних об’єктів прибиральним супутником

Водночас багаторазові космічні апарати не є повністю екологічно нейтральними і мають власні обмеження та виклики. За даними ScienceDirect, SciSpace та UNEP, навіть при повторному використанні залишаються проблеми, пов’язані з викидами під час запуску, використанням токсичних або енергоємних матеріалів, а також необхідністю технічного обслуговування між польотами. Крім того, не всі частини систем можна зробити багаторазовими: деякі елементи все одно згорають або стають відходами. Наприклад, навіть у багаторазових ракетах можуть втрачатися другі ступені або дрібні компоненти. Також підкреслюється, що збільшення доступності запусків завдяки багаторазовим технологіям може, навпаки, стимулювати ще більшу кількість місій, що частково нівелює екологічний ефект. У зв’язку з цим сучасна космічна галузь розвиває комплексний підхід: поєднання багаторазових систем, створення екологічно безпечніших матеріалів, концепцію «design for demise» (повне згоряння без токсичних залишків) і міжнародне регулювання космічного сміття. Таким чином, багаторазове використання космічних апаратів є важливим кроком до сталого розвитку космічної індустрії, але потребує поєднання з іншими екологічними рішеннями для досягнення реального зменшення впливу на довкілля.

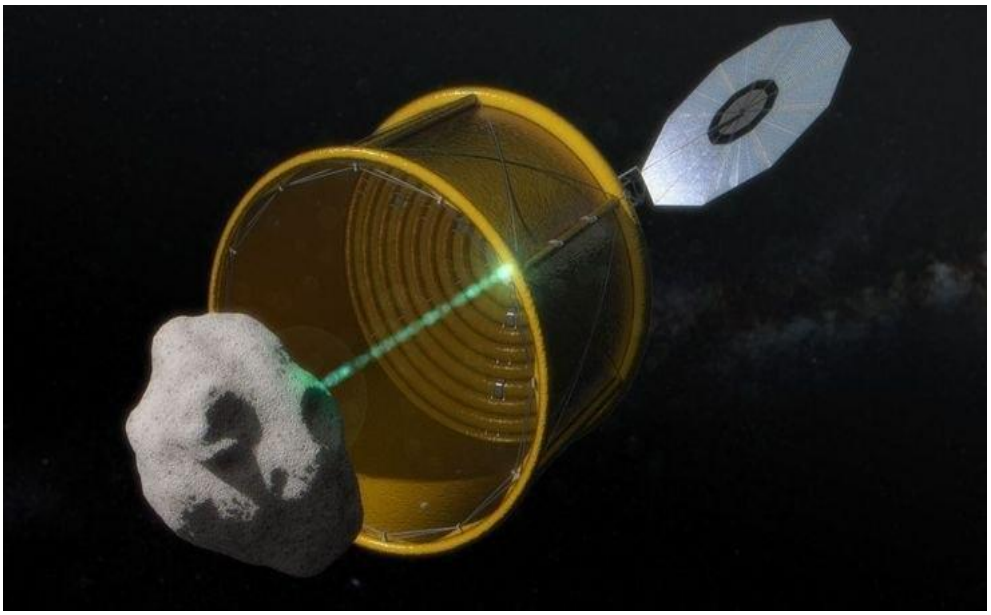


Рис. 3. Збір малих астероїдів для подальшого дослідження на МКС

Вхід космічних апаратів в атмосферу Землі є одним із найскладніших і найнебезпечніших етапів їх існування. Саме в цей момент об’єкт, що роками перебував у космічному середовищі, піддається екстремальним фізичним навантаженням: високим температурам, тиску та інтенсивному тертю. Це явище супроводжується процесом згоряння або, точніше, абляції матеріалів, коли зовнішні шари апарата поступово руйнуються та випаровуються. Згоряння космічних апаратів під час входу в атмосферу Землі є складним фізико-хімічним процесом, який досі недостатньо вивчений, незважаючи на його поширеність. За даними European Space Agency, за приблизно 70 років космічної діяльності близько 10 000 супутників і ракетних тіл вже увійшли в атмосферу. Розуміння цих процесів має ключове значення не лише для безпечного завершення місій, але й для мінімізації екологічного впливу на атмосферу Землі. Під час входу в атмосферу космічний апарат рухається з надзвичайно високою

швидкістю, зазвичай від 7 до 11 км/с. Унаслідок цього перед апаратом утворюється ударна хвиля, яка стискає та нагріває повітря до температур у кілька тисяч градусів Цельсія. Важливо зазначити, що основним джерелом нагріву є не тертя у звичайному розумінні, а саме адіабатичне стиснення повітря. Це призводить до утворення плазми – іонізованого газу, який оточує апарат і створює характерне світіння, видиме з Землі як «падуча зірка». Процес згоряння космічного апарата залежить від матеріалів, з яких він виготовлений. Наприклад, алюміній, який широко використовується у конструкції супутників, плавиться при температурі близько 660°C, але при вході в атмосферу температура може перевищувати 1500°C, що призводить до його швидкого руйнування. Натомість такі матеріали, як титан або вуглецеві композити, можуть витримувати значно вищі температури, і саме тому деякі фрагменти апаратів іноді досягають поверхні Землі. Відомим прикладом є уламки станції «Мир», які частково не згоріли повністю під час контрольованого сходження з орбіти в 2001 році.

Особливу увагу в сучасних дослідженнях приділяють складу пального та матеріалів, що використовуються у космічній техніці. Традиційні ракетні пропеланти, такі як гідразин, є токсичними та становлять загрозу для довкілля. Саме тому активно розробляються більш безпечні та «чисті» альтернативи, наприклад, на основі амоній-динітраміду або так звані зелені пропеланти. Прикладом є місія супутника LMP-103S, де використовувалося екологічніше пальне, що зменшує викиди шкідливих речовин під час згоряння. Згоряння космічних апаратів також має значний вплив на атмосферу. Дослідження показують, що під час руйнування супутників у верхніх шарах атмосфери утворюються оксиди

металів, зокрема алюмінію. Ці частинки можуть впливати на хімічний склад атмосфери, потенційно змінюючи процеси формування озонового шару. Наприклад, збільшення кількості запусків і, відповідно, кількості супутників на орбіті (зокрема мегасузір'їв, таких як Starlink) підвищує частоту їх сходження з орбіти, що викликає занепокоєння серед науковців.

Окрім екологічних аспектів, існує також проблема космічного сміття. Неконтрольоване входження об'єктів у атмосферу може становити ризик для населення, хоча ймовірність цього залишається дуже низькою. Наприклад, у 2022 році уламки китайської ракети Long March 5B привернули увагу світової спільноти через неконтрольоване падіння. Це підкреслює необхідність міжнародного регулювання та вдосконалення технологій керованого сходження з орбіти. Сучасні підходи до проєктування супутників дедалі більше враховують концепцію «Design for Demise», тобто створення апаратів, які повністю згоряють в атмосфері без утворення небезпечних уламків. Інженери підбирають матеріали та конструкції таким чином, щоб забезпечити їх повне руйнування на великій висоті. Наприклад, використання менш жаростійких сплавів або спеціальних з'єднань, які швидко розпадаються при нагріванні, дозволяє значно зменшити ризики.

Також активно розвивається напрям сталого космічного дизайну. Організації, такі як Європейське космічне агентство, впроваджують стандарти, що передбачають зменшення кількості сміття та мінімізацію впливу на атмосферу. Наприклад, нові супутники проєктуються з урахуванням їх кінцевого етапу життєвого циклу: передбачаються механізми деорбітації або використання матеріалів, що легко згоряють.

Цікавим прикладом є кубсати – малі супутники, які завдяки своїм невеликим розмірам майже повністю згоряють в атмосфері. Вони стали популярними серед університетів і стартапів, оскільки поєднують низьку вартість і відносну безпечність з точки зору утилізації. Проте навіть їх масова поява викликає дискусії щодо кумулятивного впливу на атмосферу. З наукової точки зору, вивчення процесів згоряння космічних апаратів відкриває нові можливості для дослідження високотемпературної хімії та фізики плазми. Наприклад, спостереження за спектром світіння під час входу в атмосферу дозволяє визначати склад матеріалів, що згоряють. Це використовується як у наукових експериментах, так і для моніторингу космічного сміття. У сучасних дослідженнях особливу увагу приділяють конкретним місіям і прикладам згоряння апаратів. Одним із ключових проєктів є місія DRACO (Destructive Reentry Assessment Container Object), яку готує European Space Agency на 2027 рік. Цей супутник спеціально створений для того, щоб навмисно згоріти в атмосфері вже через приблизно 12 годин після запуску, збираючи дані за допомогою близько 200 сенсорів і камер. Усередині нього буде капсула, яка переживе руйнування та передасть інформацію про температуру, тиск і механічні навантаження під час згоряння. Крім DRACO, у дослідженнях ESA згадуються також спостереження за реальними входженнями апаратів, зокрема під час місій типу ATV (наприклад, Jules Verne), де процес руйнування вивчали навіть з літаків, а також сучасні супутники, які спеціально зводять з орбіти для аналізу їх розпаду. Окрім цього, значну частину маси, що повертається в атмосферу, становлять елементи ракет, наприклад ступені Falcon 9, які після запуску швидко сходять з орбіти і

згорають, формуючи значний внесок у загальну масу матеріалів, що руйнуються в атмосфері.

Отже, згоряння космічних апаратів у атмосфері є складним багатофакторним процесом, що поєднує фізику, хімію та інженерію. З одного боку, це природний і необхідний етап завершення місії, який дозволяє очищати орбіту від непрацюючих об’єктів. З іншого боку, зростання кількості запусків і супутників вимагає більш відповідального підходу до проєктування та утилізації космічної техніки. У майбутньому розвиток екологічно чистих матеріалів, нових типів пального та вдосконалення технологій деорбітації стане ключем до забезпечення сталого розвитку космічної діяльності та збереження атмосфери Землі

Орбітальні БПЛА працюють за низьких температур та в умовах відсутності атмосфери. Отже, до двигунів, що встановлюються на орбітальні БПЛА, висувається низка специфічних вимог:

– забезпечення можливості виходу на орбіту; підтримки та корекції орбіти за необхідності; орієнтації, стабілізації ЛА, деорбітації після виконання місії (для цього треба мати тягу, достатню для всіх фаз місії, можливість чіткого регулювання рівня тяги);

– можливість роботи у вакуумі, під впливом радіації та екстремальних температур;

– компактність та легкість;

– забезпечення довготривалої стійкої роботи, можливість багатократного запуску, безпека зберігання пального та стабільності компонентів під час всього строку служби;

– відповідність екологічним нормам.

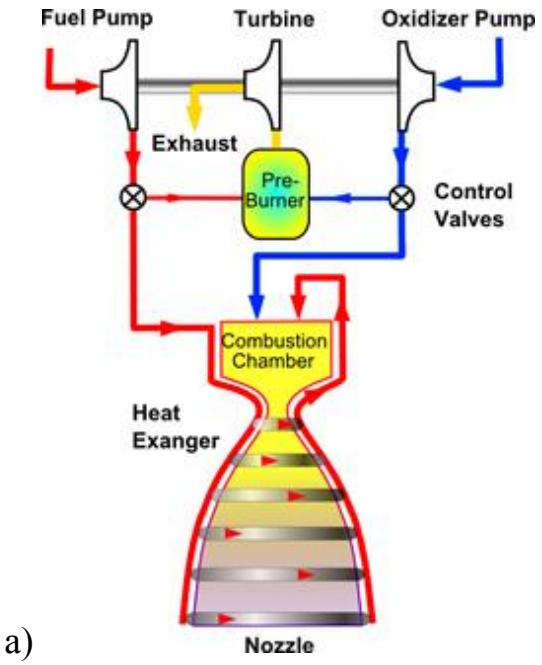
У таблиці 1 наведено характеристики основних типів двигунів, що наразі встановлюються на орбітальні БПЛА.

Таблиця 1

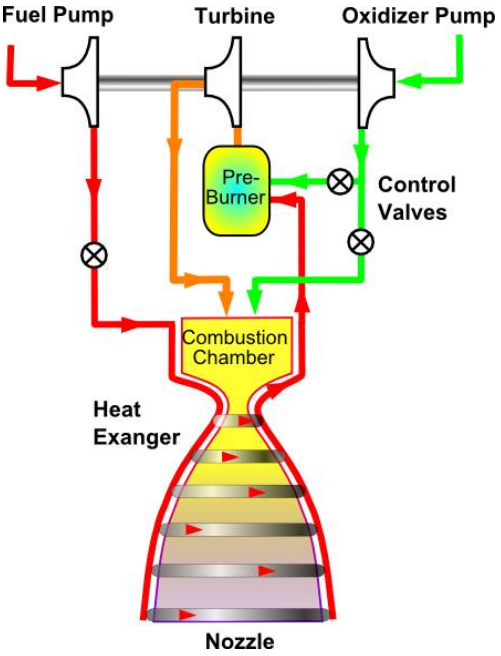
Двигуни, що встановлюються на орбітальні БПЛА

Тип двигуна	**РРД малої тяги**	**Електрореактивні**	**Газові реактивні мікродвигуни**
Застосування	Основні маневри, корекція орбіти, зміна площини	Довготривала корекція орбіти, керування положенням на ГСО, апарати дозаправки	Точне керування орієнтацією, мікроманеври
Тяга	0.1 – сотні Н	0.001–0.5 Н	0.01–0.5 Н
Питомий імпульс	220–320 с до 350 с для двокомпонентних	1200–3000 с (йонні) 1500–2000 с (Холла)	40–80 с
Ефективність витрати маси	Низька, середня	Висока	Низька
Складність системи	Середня	Висока (електроніка, джерела енергії)	Низька
Енергоспо-живання	Немає (тільки клапани)	Високе (300–3000 Вт і вище)	Немає (тільки клапани)
Пальне	Гідразин (N2H4), ММН + N2O4, LMP-103S	Ксенон, криптон	Стиснутий гелій, азот, SF6
Переваги	Висока тяга, простота реалізації	Максимальна економія пального, мала витрата пального	Простота, малі розміри, швидка реакція
Недоліки	Велика витрата палива, токсичність	Низька тяга, необхідні потужні джерела енергії	Низький питомий імпульс, швидка витрата газу

Схеми РРД з малою тягою:



а)



б)

Рис. 4. Схеми РРД:

а) відкритого типу, без доспалювання; б) закритого типу, з доспалюванням

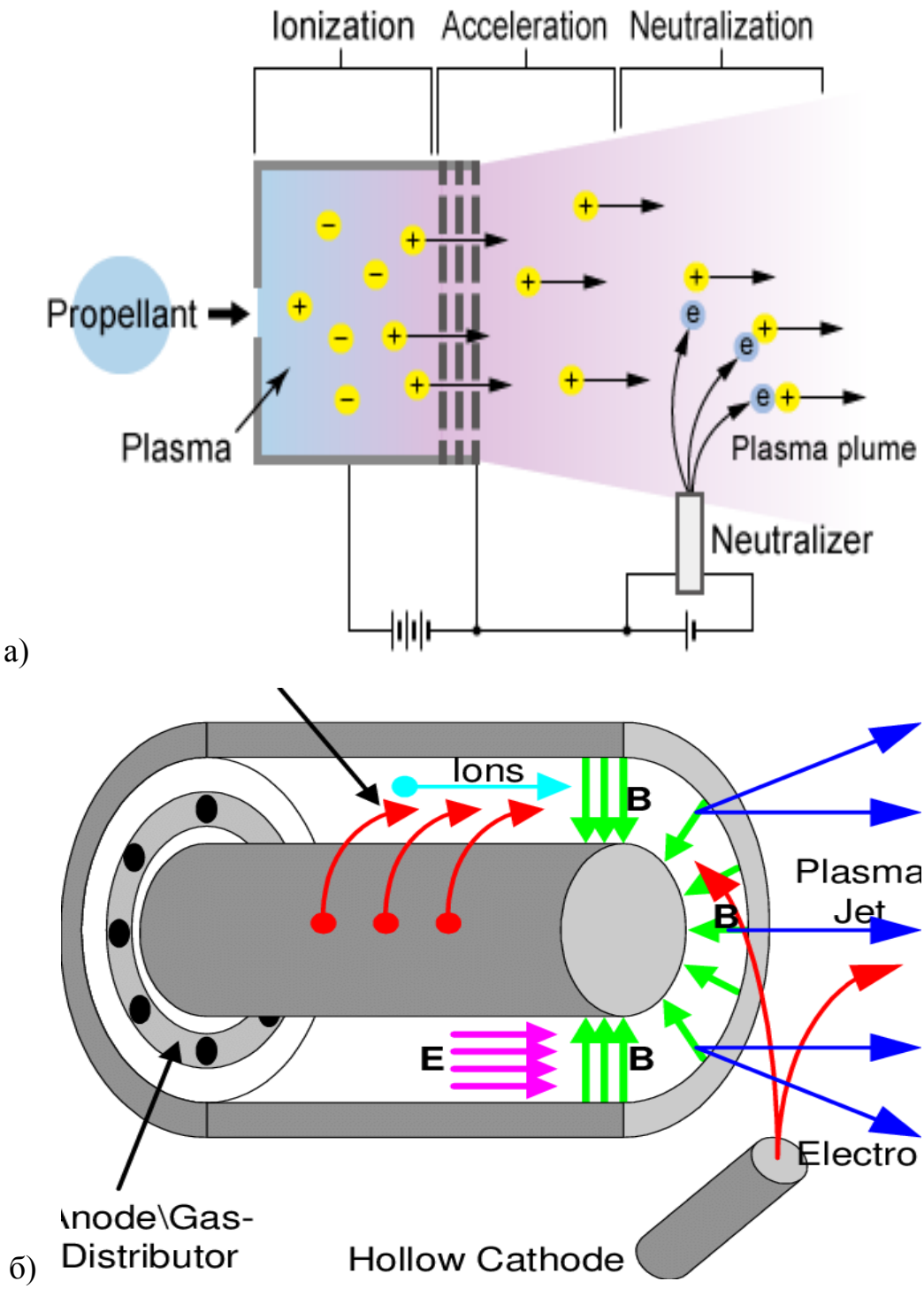


Рис. 5. Схеми електрореактивних двигунів:

а) йонний; б) Холла

Однією з перспектив розвитку двигунів, що працюють у космосі, є застосування ядерних ракетних установок: теплових та електричних.

У ядерній тепловій установці тепло виробляється в реакторі поділу і безпосередньо передається потоку рідкого пального, перетворюючи його на газ, який потім розширюється і викидається через сопло, рухаючи космічний апарат. Такий двигун забезпечує високу тягу, що вдвічі перевищує ефективність використання пального порівняно з хімічними ракетами, що дозволяє розмістити більше корисного навантаження та необхідних для виконання місії матеріалів на борту космічного апарата.

Ядерний електрореактивний двигун використовує тепло ядерного реактора для вироблення електроенергії, подібно до атомних електростанцій на Землі. Ця електроенергія потім використовується для іонізації газоподібного пального та його електромагнітного прискорення, створюючи тягу, яка надає руху космічному апарату.

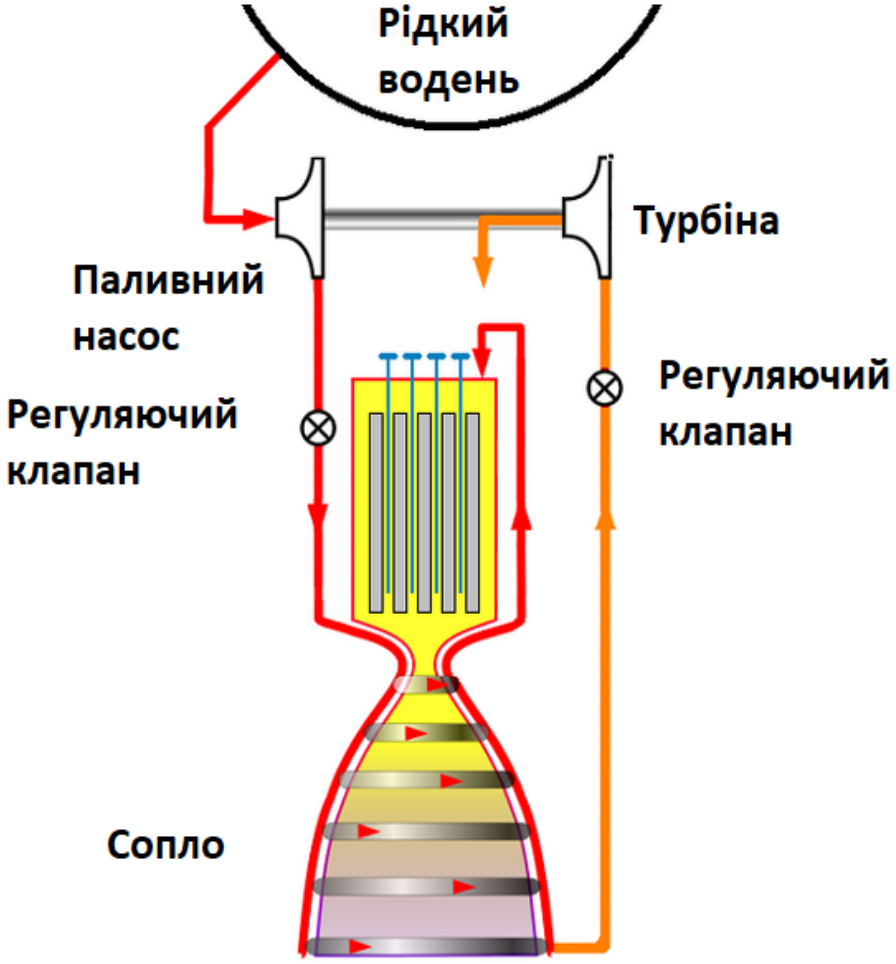


Рис. 6. Схема ЯРД

Також активно вивчається та тестується застосування роторних детонаційних ракетних двигунів (РДРД), що робить конструкцію значно легшою, що підвищує її ефективність, дозволяючи відправляти більше маси та корисного навантаження в далекий космос, що є дуже важливим наразі.

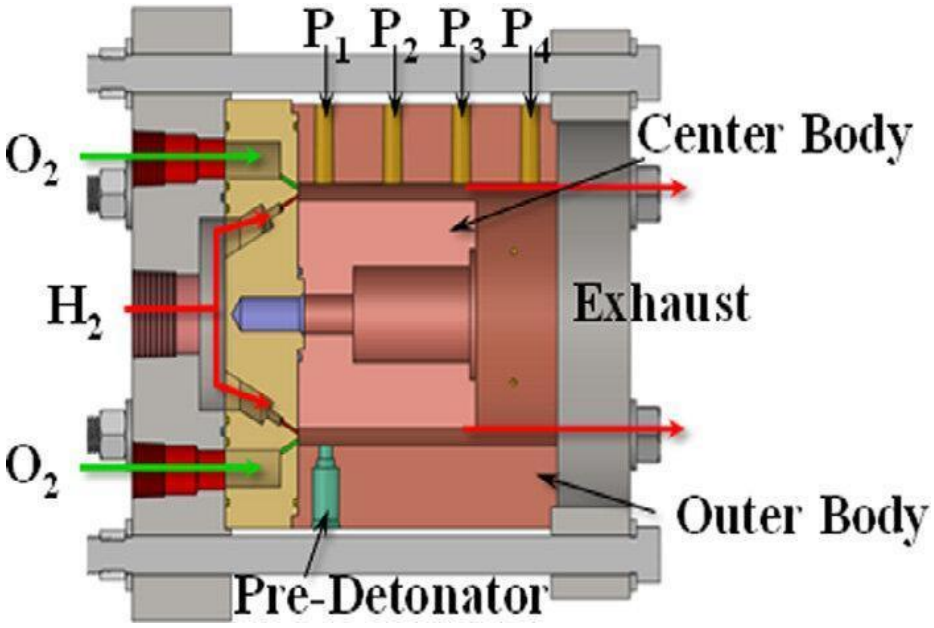


Рис. 7. Схема РДРД

RCS (Reaction Control System, система керування реактивними тяговими імпульсами**)** – це система космічного апарата, що використовує групу малих ракетних двигунів керування орієнтацією та рухом космічного апарата у відкритому космосі. На відміну від маршового двигуна, вона не призначена для зміни орбіти на великі відстані, а забезпечує точне маневрування та стабілізацію.

Можна виділити основні завдання, які виконує RCS:

– маневрування та орієнтація космічного апарата: контроль кута повороту (рискання, крен, тангаж); корекція положення для точного наведення на орбіту;

– стикування та розстикування: ключова роль при підході до інших об’єктів у космосі;

– контроль обертання під час польоту: дозволяє стабілізувати апарат після запуску, при розгортанні сонячних панелей чи антен;

– невеликі корекції орбіти: використовується для точних маневрів, коли основний двигун занадто потужний для дрібних корекцій.

Основними компонентами RCS є:

– реактивні двигуни: малі двигуни з холодним або гарячим газом;

– паливна система: зазвичай включає бак з рідким чи газоподібним пальним і систему подачі до двигунів;

– система керування: електроніка, яка отримує команди від автоматичної системи або космонавтів і включає потрібні двигуни у правильному порядку.

До RCS висуваються певні вимоги:

– точність та керованість;

– надійність у вакуумі та при екстремальних температурах;

– компактність і легкість;

– ефективність витрати пального;

– можливість виконувати керування орієнтацією навіть при відмовах окремих елементів.

У запропонованій компоновці БПЛА для можливості керування орієнтацією пропонується встановити 7 блоків RCS, кожен з яких матиме двигуни типу Cold-gas thruster (газові реактивні мікродвигуни). Такі двигуни є достатньо простими, мають швидку реакцію та дозволяють отримати тягу в діапазоні 10мН – 5Н. Невеликі значення тяги дозволяють дуже точно скорегувати орієнтацію та стабілізувати положення ЛА.

На рисунку 8 наведено схему газового реактивного мікродвигуна:

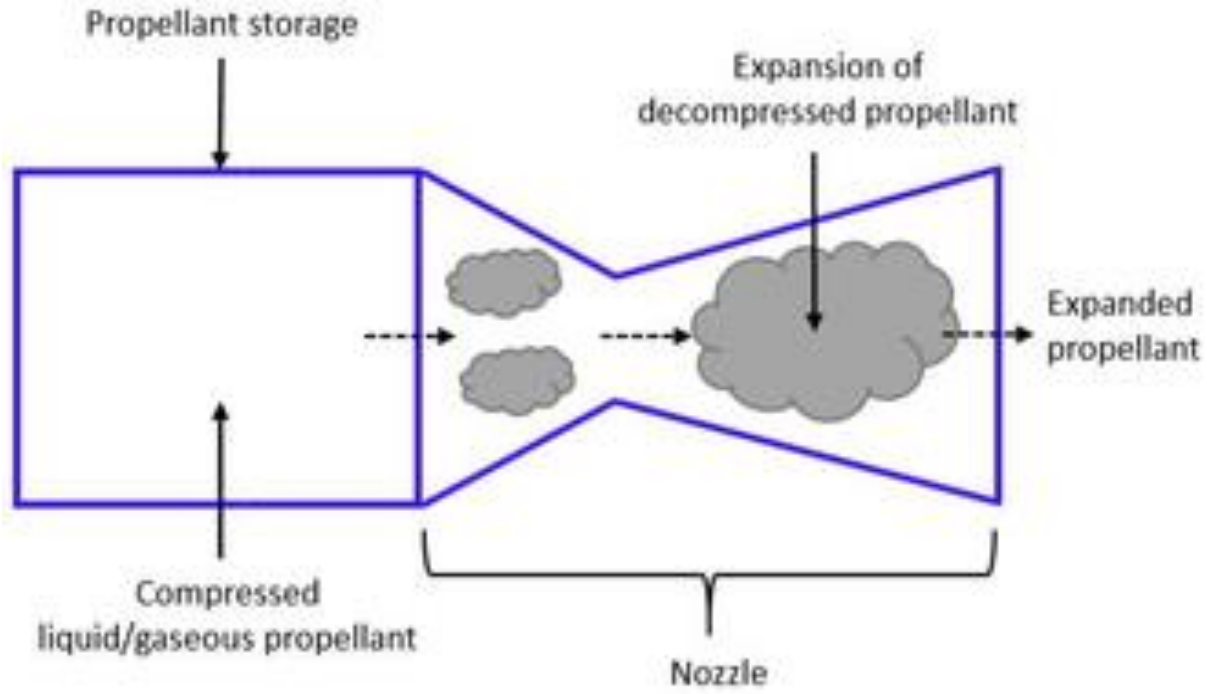


Рис. 8. Схема газового реактивного мікродвигуна

На основі огляду існуючих cold-gas thrusters їх можна класифікувати за величиною тяги (табл. 2):

Таблиця 2

Класифікація cold-gas thrusters

Категорія	**Тяга**	**Приклад**	**Призначення**	**Газ**
Cold-gas thrusters мікро тяги	До 10 мН	I2T5 – 0,35 мН, Xenon cold gas thruster – 6,4–9,3 мN	Високоточне керування орієнтацією апарата, демпфування кутових швидкостей, компенсація мікромоментів збурення	Xe, N_2, He

Категорія	Тяга	Приклад	Призначення	Газ
Cold-gas thrusters малої тяги	10–100 мN	Nammo Cold Gas Thruster, AST CGT ~42 мN	Компенсація зовнішніх моментів збурення, стабілізація кутового положення	N_2, He, GN_2
Cold-gas thrusters середньої тяги	1–3,6 Н	Moog Cold Gas Thrusters – 1,3–3,6 Н	Допоміжне керування орієнтацією, демпфування кутових швидкостей	GN_2, N_2
Cold-gas thrusters підвищеної тяги	Більше 3,6 Н	AEOLOS 5N – 5 Н	Орієнтаційні маневри, демпфування після динамічних подій, підтримка фінальної фази зближення та стиковки	N_2, He, CO_2, Ar

Для цього ЛА на одному блоці RCS пропонується розмістити за 5 типом cold-gas thrusters двигунів підвищеної тяги по 5Н кожен. Це дасть змогу виконувати керування орієнтацією літального апарата за всіма трьома осями, стабілізувати просторове положення, гасити залишкові кутові швидкості після відокремлення.

За рахунок сумарної тяги одного блока до 25 Н та раціонального рознесення блоків RCS по корпусу апарата забезпечується створення необхідних керуючих моментів для плавних та контрольованих розворотів апарата, що відповідає вимогам орієнтації під час зближення, стикування та роботи у складі орбітальних угруповань.

При одночасному використанні декількох блоків RCS система також дозволяє виконувати малі поступальні маневри: коригування відносного положення, розходження після стикування, утримання дистанції та

компенсацію збурень. Отримувані прирости швидкості мають порядок одиниць метрів за секунду при тривалості імпульсу в декілька хвилин, що є достатнім для задач прецизійного маневрування, але не призначене для виконання орбітальних маневрів або зміни енергетичних параметрів орбіти.

Час роботи двигунів RCS обмежений запасом газу, стиснутого до 200 бар, оскільки об’єм бака за конструктивними вимогами не перевищує 0,025 м³. Отже, правильний вибір газу може подовжити можливий час роботи системи RCS.

Двигуни типу AEOLOS 5N зазвичай використовують як робочий газ гелій, азот або аргон. Нижче наведено порівняльну таблицю можливого часу роботи одного двигуна системи RCS при використанні кожного з цих газів (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння часу роботи одного двигуна RCS при використанні різних газів

Газ	**Густина при 200 бар, кг/м³**	**Маса газу в баку, кг**	**Витрата газу** $\frac{F}{I_{sp} \cdot g}$, г/с	**Час, хв**	**Типове значення Isp, с**
N_2	230	5,75	0,849	11,3	60
He	33	0,825	0,566	2,4	90
Ar	328	8,2	0,927	14,8	55

З порівняльної таблиці видно, що компромісом між забезпеченням високого питомого імпульсу і достатнього часу роботи є використання азоту як газу для двигунів RCS.

Список використаних джерел

1. Erol Yunus. How reusable spacecrafts work? An overview // Mars on Earth Project (MoEP). 01 Ekim 2021. URL: https://marsonearthproject.org/how-reusable-spacecrafts-work-an-overview (дата звернення: 05.05.2026).

2. Space Nuclear Propulsion // NASA. URL: https://www.nasa.gov/space-technology-mission-directorate/tdm/space-nuclear-propulsion/ (дата звернення: 05.05.2026).

3. Osorio Ramon J. NASA's 3D-printed Rotating Detonation Rocket Engine Test a Success / editor Beth Ridgeway // NASA. Dec 20, 2023. URL: https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/marshall/nasas-3d-printed-rotating-detonation-rocket-engine-test-a-success/ (дата звернення: 05.05.2026).

4. 20N Monopropellant Hydrazine Thruster // Orbital Propulsion centre / ARIANEGROUP. URL: https://www.space-propulsion.com/spacecraft-propulsion/hydrazine-thrusters/20n-hydrazine-thruster.html (дата звернення: 05.05.2026).

5. MHT-1N thruster. // Nammo AS. URL: URL: https://www.nammo.com/product/mht-1n/ (дата звернення: 05.05.2026).

6. SPT-100. // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SPT-100 (дата звернення: 05.05.2026).

7. SPT-140. // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SPT-140 (дата звернення: 05.05.2026).

8. Ion thruster. // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ion_thruster (дата звернення: 05.05.2026).

9. A Review on Cleaner and Safer Propellant Materials for Space Vehicles and Their Characterisation 1 / Ashutosh Dev, Yogesh Dumbre, Alice Rana, Shreela Sapkota, Prasiddha Raut // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/361627747_A_REVIEW_ON_CLEANER_AND_SAFER_PROPELLANT_MATERIALS_FOR_SPACE_VEHICLES_AND_THEIR_CHARACTERISATION_1 (дата звернення: 05.05.2026). June 2022 Conference: University Scholar ConferenceAt: Kathmandu University, Nepal.

10. Albert Charles. Sustainable Satellite Design: How Sustainability is Shaping the Future of Space // Viva Tech. Posted at: 03.07.2025. URL: https://vivatech.com/news/sustainable-satellite-design-how-sustainability-is-shaping-the-future-of-space (дата звернення: 05.05.2026).

11. Olawade David Bamidele, Ijiwade James O., Wada Ojima Zechariah. Toward net-zero in space exploration: A review of technological and policy pathways for sustainable space activities // ScienceDirect / Elsevier BV. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969725007806 ; https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179145 (дата звернення: 05.05.2026).

12. Propulsion Options for Very Low Earth Orbit Microsatellites / Mirko Leomanni, Andrea Garulli, Antonio Giannitrapani, Fabrizio Scortecci // Università degli Studi di Siena. 32 p. URL: https://www3.diism.unisi.it/~control/Aerospace/papers/AA16.pdf (дата звернення: 05.05.2026).

13. Fabrication and Testing of the Cold Gas Propulsion System Flight Unit for the Adelis-SAMSON Nano-Satellites / Michael Zaberchik, Dan R. Lev, Eviatar Edlerman, Avner Kaidar // Aerospace. 2019. Повне слово – Volume 6, Issue 8, 91. Doi: 10.3390/aerospace6080091 ; URL: https://s3vi.ndc.nasa.gov/ssri-kb/static/resources/aerospace-06-00091.pdf (дата звернення: 05.05.2026).

14. Cold Gas Thruster for Customized Propulsion Systems SKU: B1 / Spacecraft Thruster by Dawn Aerospace // SatNow. URL: https://www.satnow.com/products/thrusters/dawn-aerospace/36-1161-b1 (дата звернення: 05.05.2026).

15. Japan’s Wood-Based Satellite Will Burn Up Cleanly in Space // Facebook. Science & Astronomy / Chic Hub. Дата публікації: 28.07.2025. URL: https://www.facebook.com/share/p/14WvuzYt9Yh/ (дата звернення: 05.05.2026).

УДК 528.8:623.7](477)

Огурцов Олександр Борисович,
начальник відділу регіонального розвитку та координації (Східний),
Інформаційно-аналітичний центр Національного центру управління
та випробувань космічних засобів, м. Харків

ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ: ДЕЯКІ АСПЕКТИ ІСТОРІЇ, СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ЯК НАПРЯМКУ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Анотація. *Матеріали для популяризації (у рамках Всеукраїнської науково-практичної конференції «Аерокосмічні обрії України: історія, наука, інновації» 14 травня 2026 р.) дистанційного зондування Землі як напрямку ракетно-космічної галузі України.*

Ключові слова: *дистанційне зондування Землі (ДЗЗ).*

Abstract. *Materials for the popularization (within the framework of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «Aerospace Horizons of Ukraine: History, Science, Innovations» on May 14, 2026) of remote sensing of the Earth as a direction of the rocket and space industry of Ukraine.*

Keywords: *Earth Remote Sensing (ERS).*

Людина здавна намагалася оглянути територію навколо місця свого проживання та шляхи своїх можливих передбачуваних (або раптових вимушених) місій за обрій або небезпечні місця можливих проходів ворожих племен, або щоб пізнати берегову лінію за отим мисом, або дізнатися, чи закінчується ліс за тією горою, за озером тощо.

Дослідження свідчать про цікавий факт: у австралійських наскельних малюнках (петрогліфах та печерному живописі) віком приблизно 12 тис. років зустрічаються зображення місцевості, рельєфу, а також

схематичні карти: наприклад, сцени полювання супроводжуються лініями, що позначають землю, печери або водойми. Хоча основна увага первісних художників була зосереджена на тваринах та сценах полювання, елементи ландшафту також відображені. Здавалося б, навіщо? А тому, що навіть примітивні схематичні зображення річок, гір, пагорбів або стежок допомагали орієнтуватися. Та ще й зберігати, передавати інформацію про мисливські угіддя. Для того, щоб прогодувати себе та народити здорове потомство.

Але цей досвід накопичувався завдяки безпосередньому контакту людини з досліджуваними нею об’єктом чи процесом, які, несподівано чи напевно, могли бути небезпечними для допитливого пращура.

Дистанційне зондування Землі (далі ДЗЗ) – це спостереження та одержання інформації про будь-який об’єкт чи процес на поверхні Землі без прямого контакту з ними, оцими об’єктами та процесами. І, як виявилося надалі, навіть під поверхнею Землі (карстові пустоти, дно морів, океанів тощо) та над її поверхнею – (в атмосфері Землі).

У сучасному розумінні ДЗЗ полягає в тематичному аналізі як власного або відбитого сонячного випромінювання, так і штучно створеного випромінювання земної поверхні в межах від ультрафіолетового до радіохвильового діапазонів. Водночас розвиток геодезичних та картографічних знань зробив можливим прив’язати космічний знімок до конкретного місця земної поверхні, яку він відображає. Зокрема без наземних геодезичних спостережень, географічних проєкцій та координат було б неможливо почати використовувати космічні знімки як джерело геоданих.

І ось, коли прийшов час повітряної кулі, то вже намагалися подивитися на поверхню планети Земля з гондол отих повітряних куль. Але як зафіксувати побачене? З чим порівнювати можливі зміни? Яка галерея наскельних малюнків, олівець чи пензель повітроплавця здатні у цьому допомогти?

Започаткування практичного ДЗЗ пов'язане з винаходом фотографії в першій половині XIX ст., коли стало можливим фіксувати зображення та їх зміни у часі і просторі. До речі, був час коли фотоапарати встановлювали не тільки у корзинах-гондолах повітряних куль, але й кріпили до спорядження «поштових» голубів-розвідників. У 1909 р. вперше для аерофотозйомки вже використовувався літак. Аерофотозйомка (як різновид ДЗЗ) використовувалася протягом Першої світової війни, в основному, для військової розвідки. У період між двома світовими війнами були розвинуті методи її цивільного застосування, передусім в картографії, геології, сільському та лісовому господарстві.

Минав час, вдосконалювались фотоапарати, плівки і літаки… Випробувалися ракети. Нарешті: перша фотографія з космосу (де немає кордонів) була зроблена з борту ракети V-2 24 жовтня 1946 р. [1].

З 1960-х років відбулися значні зміни в галузі дистанційного зондування. Революційним етапом у розвитку дистанційних методів зондування стало освоєння космічного простору. Сам термін «дистанційне зондування» був введений в 1960 р. До цього часу термін, що використовувався, зазвичай полягав в аерофотозйомці. Нові методи і технології для дослідження поверхні Землі виходили за рамки чорно-білої аерофотозйомки, вимагаючи створення нового, більш всеосяжного терміна.

З пілотованих космічних апаратів, штучних супутників Землі, орбітальних станцій почали надходити у великій кількості космічні знімки. Перші знімки земної поверхні було отримано з метеорологічного супутника «Тайрос» і космічних кораблів серії «Меркурій 1–4» у 1960–1962 рр. Кольорові знімки регіону Карибського басейну і території Північно-Західної частини Африки дозволили дешифрувати та закартувати багато нових тектонічних порушень, виявити раніше невідомі виходи різновікових корінних порід, визначити форму їх залягання.

Перші космічні фотозображення території СРСР у видимому діапазоні електромагнітного спектра були зроблені космонавтом Г. Титовим у 1962 р. з космічного корабля «Восток-2». У 1960–70-х рр. з літаків на супутники почали переносити дистанційно-чутливі прилади. Супутники можуть покривати набагато більше простору на земній поверхні, ніж літаки, і можуть регулярно контролювати зони зйомок [1].

Мало кому відомо, що після того як СРСР припинив своє існування, грабіжницька росія загарбала не тільки флоти, нерухомість за кордоном та ще й усі «живі та й ненароджені» угруповання космічних апаратів загальною чисельністю близько 220 одиниць. А ракети-носії! Так створювали ж їх народи усіх республік і належали вони усім. Про це треба пам’ятати! Так що, вважаю, зрозуміло, з яким парком стартували. Але, навіть починаючи в таких умовах, українські працівники ракетно-космічної галузі та військові розуміли, що ДЗЗ було і залишається одним з пріоритетних напрямів науково-практичних досліджень, що здійснюються в охолощеній Україні. Тому вже 22 лютого 1992 р. Указом Президента України Л. М. Кравчука № 117 було створено Національне космічне агентство України (НКАУ), яке у грудні 2010 р. перейменовано в

Державне космічне агентство України (ДКАУ). 12 серпня 1996 р. Президент України Л. Д. Кучма підписав Указ № 698/96 «Про Національний центр управління та випробувань космічних засобів». У серпні 1995-го українська ракета-носій «Циклон-3» вивела на орбіту перший вітчизняний КА «Січ-1», призначений для ДЗЗ.

Загальні правові засади здійснення космічної діяльності в Україні та під юрисдикцією України поза її межами визначає Закон України «Про космічну діяльність» від 15 листопада 1996 р. № 503/96-ВР. (Поширюється на всі види діяльності, пов’язаної з дослідженням і використанням космічного простору).

Висококваліфікованими фахівцями розроблено перший український національний стандарт з ДЗЗ «Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять» та деякі інші національні стандарти за цією темою. Верховною Радою України затверджено концепції декількох цільових науково-технічних космічних програм України (на 5 років кожна).

Використання технологій дистанційного зондування Землі – один з найбільш дієвих інструментаріїв досліджень в різноманітних галузях та напрямках. До речі, у 2026 р. ринок саме супутникових послуг ДЗЗ у світі оцінюється приблизно у 7,5–19,25 млрд дол. на рік [2]. Зокрема використання космічних знімків з КА, що знаходяться і працюють на сонячно-синхронних орбітах. На таких орбітах супутник проходить над будь-якою точкою земної поверхні приблизно в один і той самий місцевий сонячний час. Таким чином, кут освітлення земної поверхні буде приблизно однаковим на всіх проходах супутника. Такі постійні умови освітлення дуже добре підходять для супутників, що одержують

зображення земної поверхні (зокрема, супутників дистанційного зондування Землі, метеосупутників, для виконання завдань екологічної безпеки тощо).

І якщо мати «добірку» таких знімків за певний інтервал часу (декілька тижнів, місяців, років) то можна, так би мовити, подорожувати в машині часу – одержати ретроспективу розвитку подій на певній території земної поверхні. Та ще й мати фотодокументи того, як і що змінювалося на досліджуваній території. Такі досліджувані зони ми так і називаємо – «зони інтересу».

З часом зображення стали цифровими, а не аналоговими. Цифровий формат дозволив відображати й аналізувати зображення з використанням комп'ютерів, технологією, яка також зазнавала швидких змін протягом цього періоду. Комп'ютерні технології переміщалися від великих електронних обчислювальних машин (ЕОМ) до невеликих мікрокомп'ютерів і надавали інформацію більше в графічній формі, а не на числовому виході.

Детальність на місцевості, яку забезпечують космічні знімки в оптичному діапазоні, сьогодні вже наближена до межі, яка визначається фізичними законами, а саме з просторовим розрізненням 30 см.

Одна з вимог до ДЗЗ – постійне відстеження об'єктів у межах усіх досліджуваних територій, які іноді розташовані в різних географічних регіонах. Задовольнити цю вимогу на основі матеріалів знімання за допомогою літаків або одного орбітального апарата неможливо. Тому провідні країни світу йдуть на створення космічних угруповань, які дозволяють знімати будь-яку ділянку території земної кулі з необхідною періодичністю до кількох разів на добу.

Регламентом конференції визначено обмежений час виступів, тому, віддаючи заслужену данину багаторічній величезній праці всіх робітників ракетно-космічної галузі України, хочу коротко торкнутися окремих сторін безпосередньо теперішньої нашої щоденної діяльності.

Тільки на Слобожанщині щоденно сотні працівників правоохоронних органів шукають відповіді на найширший спектр запитань про наслідки різноманітних правопорушень. Наприклад, щодо нецільового використання земель; самовільної вирубки лісу; самовільного захоплення або забудови фрагментів окремих територій, що належать державі, територіальній громаді, підприємству чи установі; забруднення територій шляхом безпорадної експлуатації існуючих сміттєзвалищ або несанкціонованого облаштування нових; незаконного видобутку корисних копалин (розробка кар'єрів, робота земснарядів з намиву піску тощо); забудови прибережних захисних смуг водойм; самовільного використання водних ресурсів: несанкціонованого скидання води з водоймищ, ставків, заводнення пасовищ, самовільного риття каналів; несанкціонованого облаштування дамб/перешийків; несанкціонованої діяльності у природоохоронних зонах.

І це ще далеко не повний перелік питань, відповіді на які можна ефективно роздивитися з певних космічних орбіт. Заявки до нас надходять, як ви розумієте, не тільки зі Слобожанщини.

З часом з'явилися датчики, які реєстрували поверхню Землі одночасно в декількох різних частинах електромагнітного спектра, що дозволило детальніше вивчати територію, переглянувши кілька різних зображень, у т. ч. за межами видимого спектра. Ця технологія дозволяє побачити процеси, події, явища тощо, що відбуваються на поверхні Землі,

але невидимі для людського ока. Крім того, фахівців різних галузей економіки цікавлять прогнозування танення снігового покрову чи перспективи врожаїв с/г культур (а керівництво с/г департаментів цікавить, як ефективно перевірити достовірність наданих з регіонів доповідей про фактично засіяні площі).

Тому в роботах за окремими заявками при складанні тематичних карт та формуванні інформаційних довідок для подальшого аналізу поряд з космічними знімками звичайного оптичного діапазону ми надаємо замовникам комбіновані ретроспективні матеріали, якщо це можливо, з використанням «синхронних» знімків у інших діапазонах (багатоспектральна зйомка).

Наприклад, індекс NDWI (Normalized Difference Water Index) використовується для визначення об'єктів відкритих водних просторів та їх виділення на супутниковому знімку на тлі ґрунту та рослинності. NDWI розраховується з використанням комбінації GREEN-NIR (видимий зелений та ближній інфрачервоний), що дозволяє виявляти навіть незначні зміни вмісту води у водоймах.

Колись у Харкові працювало близько трьох десятків підприємств і установ, які були пов'язані з ракетно-космічною галуззю. Їх кадровий склад налічував близько 120 тис. осіб, а з членами сімей – це більше третини мільйона харків'ян, що майже дорівнює населенню Салтівського житлового масиву. Довоєнній чисельності населення! А зараз до нас прийшла війна. Але війна – не сніг і не дощ, вона сама не приходить! Її принесла Росія! І про харківську Салтівку, по-звірячому зруйновану агресором, сьогодні знає весь світ!

Окрема робота проводиться по заявках, що пов’язані із завданнями фотофіксації та геодезичної прив’язки локацій місць / районів пошкоджень внаслідок агресії РФ проти України:

– місця згарищ, руйнувань будівель та споруд;

– наслідки екологічно небезпечних подій (аж до фотофіксації, якщо є можливість, їх фаз / етапів, фіксації вторинних (похідних) збитків, зокрема внаслідок прокладання об’їзних доріг навколо зруйнуваних дамб, мостів, шляхопроводів тощо).

Якщо вам колись доводилось тримали в руках «Атлас бойової хірургічної травми», у якому викладено неоціненну інформацію, що узагальнює бойовий досвід медичного забезпечення на полі бою і допомагає в лікуванні, відновленні функцій пораненої людини, то, вважаю, цілком доречно сказати наступне. Тематичні карти та інформаційні довідки, складені співробітниками нашого підрозділу і НЦУВКЗ в цілому, – це розділи такого самого атласу (атласу поверхні Землі), який ілюструє рани на тілі нашої планети. І крім того, допомагає відтворити причинно-наслідкові зв’язки їх виникнення. Дозволяє озброїти фахівців матеріалами, щоб провести скрупульозний аналіз, і, де треба, впливати на недбайливих господарників або своєчасно запобігти можливим небажаним наслідкам природних катаклізмів. А якщо сьогодні, на жаль, довелося підраховувати втрати, то і сприяти ретельному і кваліфікованому підрахунку збитків, що нанесла РФ Україні своєю агресією, з метою їх безперечного і повного відшкодування після нашої перемоги.

Завдання для працівників ракетно-космічної галузі України на майбутнє – не тільки зберегти те надбання, що маємо зараз, а створити

умови для розвитку ракетно-космічної галузі України: по-перше, зберегти досвідчені кадри і вдосконалювати існуючі технології та методики обробки інформації ДЗЗ; по-друге, залучати та навчати молодь; по-третє, використовувати партнерську допомогу: стартові комплекси, пускові послуги, супутникові угруповання партнерів; по-четверте, налагоджувати робочі зв'язки з підрозділами місцевої влади та громадськими організаціями для подальшого впровадження сучасних космічних технологій в нагальні сфери життя громад.

Список бібліографічних посилань

1. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування : навчальний посібник. URL: https://kyivobl-man.in.ua/wp-content/uploads/2025/09/Posibnyk-Osnovy-dystantsijnogo-zonduvannya-Zemli-istoriya-ta-praktychne-zastosuvannya-2019.pdf (дата звернення: 21.05.2026).

2. Satellite Remote Sensing Services Market Industry Analysis, Market Size, Share, Trends, Growth And Forecast 2024–2030 // IndustryARC™. Dec 2023. URL: https://www.industryarc.com/report/19399/satellite-remote-sensing-services-market (дата звернення: 21.05.2026).

УДК 004.89:[681.5:629.7]]

Прокопчук Юрій Олександрович,
провідний науковий співробітник,
Інститут технічної механіки Національної академії наук України
і Державного космічного агентства України, м. Дніпро

ІНЖЕНЕРІЯ КОГНІТИВНИХ / АВТОНОМНИХ ПЛАТФОРМ: КОГНІТИВНІ ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ

Анотація. *Дослідження в галузі автономних когнітивних технічних систем (КТС) зосереджені на розробці машин, роботів та систем, які здатні автономно навчатися, сприймати навколишнє середовище та взаємодіяти з ним як жива істота. Для КТС важлива гнучкість в умовах обмежених ресурсів та радикальної невизначеності, а також неприйнятні відмови функціонування. Проаналізовано принципи зростання інтелекту КТС, отримання сенсу інформації для ефективного управління.*

Ключові слова: *автономні системи, когнітивні технічні системи, парадигма граничних узагальнень, смисл інформації, консенсусні рішення.*

Abstract. *Research in the field of Autonomous Cognitive Technical Systems (CTS) focuses on the development of machines, robots, and systems capable of autonomous learning, perception, and interaction with the environment in a manner akin to a living being. For CTS, flexibility under conditions of limited resources and radical uncertainty is vital, as operational failures are unacceptable. This research explores the principle of intelligence growth in CTS and the extraction of information meaning for effective control.*

Keywords: *autonomous systems, cognitive technical systems, Limit Generalization Paradigm (LGP), meaning of information, consensus decisions.*

Дослідження в галузі автономних когнітивних технічних систем (КТС) зосереджені на розробці машин, роботів та систем, які здатні

автономно навчатися, сприймати навколишнє середовище та взаємодіяти з ним як жива істота. Для КТС важлива гнучкість в умовах обмежених ресурсів та радикальної невизначеності, а також неприйнятні відмови функціонування. Складність питання полягає в концептуальному розумінні загальних принципів самовдосконалення інтелекту КТС. «Думаючі машини» в умовах обмежених ресурсів здатні вирішувати неоднозначні, радикально невизначені, нові, хаотичні чи обчислювально складні проблеми за допомогою ефективних політик на рівні завдань та метакогнітивних стратегій. Пов’язане питання полягає у створенні ефективних «людино-машинних команд» (Transdisciplinary Engineering: Human-Agentic AI Teaming; Human-Autonomy Teaming – HAT; A HAT-Approach for a Flight-Following Task). Прикладом дослідження цих проблем є проєкт Google «Paradigms of Intelligence» [1]. Приклади КТС і «команд» з аеронавтики: «Робот CIMON зі ШІ», «Robonaut 2», «Astrobee». Важливість питань підкреслює злиття xAI зі SpaceX.

Завдання дослідження:

– дослідження структури моделей функціонування автономних систем, зокрема в авіакосмічній галузі;

– аналіз зв’язності та зростання інтелекту у складних динамічних інтелектуальних системах з точки зору самоорганізації, саморефлексії, самодобудови, безперервної взаємної причинності, консенсусного управління, розширених пам’яті та пізнання;

– дослідження фундаментальної природи розпливчастості, отримання сенсу інформації для ефективного управління в умовах радикальної невизначеності та обмежених ресурсів;

– розробка рекомендацій щодо застосування запропонованої методології до моніторингу та керування рухомими об’єктами з використанням когнітивних технологій.

Встановлено, що доцільно розробляти «Платформу для автономних систем» (приклад НАСА) [2], яка розглядає та інтегрує основні функції для створення інтегрованого рішення щодо автономності. Платформа включає бібліотеки об’єктів та інфраструктуру системних елементів для електричних, механічних, комп’ютерних та комунікаційних програм, які можуть бути використані для широкого кола реалізацій при створенні моделей знань програм багаторазового використання. Підхід НАСА враховано при створенні моделей в ІТМ НАН України.

Розроблено новий підхід до створення моделей функціонування автономних (зокрема, авіакосмічних) систем, заснований на парадигмі граничних узагальнень (ПГУ) та когнітивному підході [3–9]. Новий підхід отримав назву КТС [4]. Вивчено властивості КТС. Розроблено загальну схему інформаційної моделі розподіленого багатоагентного обчислювального інтелекту автономної системи на засадах ПГУ [5–7].

Вдосконалена мова моделювання КТС показала переваги когнітивного підходу у вирішенні завдань забезпечення інформаційно-системної безпеки та ефективності критичних технічних систем. Інший підхід до керування складністю – це використання ансамблю великих мовних моделей (ВММ).

Гнучкість, заявлена авіакосмічними системами наступного покоління, спричиняє глибоку модифікацію самого ядра систем управління. Можливості надзв’язності та управління даними дозволяють створювати більш гнучкі та реактивні системи управління, що базуються

на співробітництві автономних та пов’язаних об’єктів у процесі прийняття рішень [6]. Розглянуто особливості холонічної парадигми систем керування та властивості холонів. Розроблено схему стохастичного відмовостійкого управління, зокрема, схему управління сенсорними несправностями та модель розрізнення «континуум задач» [3; 8].

Узагальнена багатомасштабна модель будь-якого сигналу на засадах мультиформалізму та досвіду, що дозволяє повністю диверсифікувати шляхи обчислень та засоби отримання первинної інформації. Розроблено схему застосування морфологічних обчислень для інтеграції та узагальнення первинної інформації. Модель дозволяє реалізувати тотальний аудит інформаційних потоків та втілене прогнозування («штучна інтуїція»). Модель базується на ПГУ-концепції «сенсу / суті інформації» («Мислення – це оперування Смислами») [8]. Запропоновано концепцію «Когнітивного числа» (модель будь-якої змінної).

Важливу роль відіграє наступне положення Грегорі Хайтіна (одного з основоположників алгоритмічної теорії інформації): «*Модель краща, якщо вона може пояснити більше з меншими витратами*». Критичні начерки в мережах начерків (виникають автоматично) забезпечують реалізацію цього положення. Саме вони втілюють «суть» інформації в конкретній задачі розрізнення [8]. Заплутана мережа начерків інформації формує «смисл» інформації (Fundamentally, LGP states: to 'reach awareness,' the system must achieve internal alignment across all levels of generalization. У перекладі: *По суті, LGP стверджує: щоб «досягти усвідомлення», система повинна досягти внутрішньої узгодженості на всіх рівнях узагальнення*). Саме виділення «суті» дозволяє реалізувати «миттєве» прийняття рішень (Ultra-Fast Logic: very fast reasoning: The perception

mechanism is a 'continuum of distinction tasks' У перекладі: *Ультрашвидка логіка: дуже швидке мислення: механізм сприйняття є «континуумом завдань розрізнення»),* що дуже важливо в критичних ситуаціях.

Розроблено метод визначення оптимальної кількості вхідних даних для швидкого розпізнавання об’єктів чи подій (моделі критичних начерків та «тонкого зрізу» економних евристик в задачах розрізнення) [9].

У моделі розподіленої автономної системи окремі компоненти та девайси розглядаються як програмні / «розумні» агенти, що дозволяє розглянути рій компонентів як «мережу агентів можливостей, та агентів потрібностей», який самоорганізується при виконанні будь-якого завдання. Архітектура КТС має вигляд «системи систем» з фракталоподібними властивостями структури та інформації, що дозволяє автоматично масштабувати будь-які процеси управління та виявляти / нейтралізувати загрози.

Удосконалено математичну модель будь-якого сигналу, параметра або змінної, яка містить вбудовану верифікацію та самокорекцію [6]. Вдосконалено математичну модель тотального аудиту всіх інформаційних потоків автономної системи на основі моделі цілісності та досвіду. Модель функціонує «на краю хаосу», тобто в стані критичності. Розроблено модель самопородження інформаційних агентів на основі багатоцільового банку знань та досвіду для активного вирішення чисельних задач розрізнення. Запропоновано модель самовдосконалення відкритого простору можливостей для ключової властивості «агентність». Використовується мультифізичність (розширена компліментарність) та мультиформалізм.

Суперструктури ПГУ «мережі начерків» та «мережа мереж начерків» відображають базову когнітивну стратегію – категоризацію. Зростання розуміння та зменшення витрат забезпечується не тільки множинною редукцією-масштабуванням начерків, але й посиленням узагальненої заплутаності між мережами начерків (зростає ступінь інтегрованості інформації та операційної замкнутості в «мережі мереж начерків»). Мінімальну, але достатню для розуміння складність (за Колмогоровим) мають критичні начерки або «тонкий зріз». Активація критичних начерків вимагає мінімум енергії / ресурсів серед усіх можливих начерків, що важливо для «крайового інтелекту» в рамках Інтернету «розумних» речей КТС.

У більшості інженерних проєктів головним завданням є точна специфікація і моделювання архітектури системи та пов’язаних з нею реакцій. Однак для складних систем це не завжди можливо, і використання біоінспірованого дизайну дає змогу імітувати адаптацію біологічних систем до складних, динамічних і швидко мінливих умов.

Проведено аналіз можливості застосування ВММ до виконання окремих задач розрізнення (управління, діагностики, прогнозування). З аналізу літератури та власних досліджень встановлено, що використання ансамблю ВММ веде до швидкого зростання інтелекту в складних динамічних інтелектуальних системах [10]. Сформована концепція застосування ансамблю ВММ / ПГУ-машин, зокрема, для реалізації конкурентних механізмів дій [5].

Наведемо приклад з аерокосмічної галузі. United Launch Alliance (ULA), спільне підприємство Boeing та Lockheed Martin, влітку 2025 р. почало тестувати «RocketGPT» – адаптовану версію чат-бота на основі

штучного інтелекту OpenAI, що відповідає вимогам безпеки для оборонних підрядників. Система працює на хмарній платформі Microsoft Azure, яка сертифікована під вимоги безпеки. Розробка RocketGPT проводилася спільно з OpenAI та PwC. ULA наголошує, що RocketGPT – це інструмент асистування, а не заміни персоналу. Людський контроль залишається обов'язковим. Успішний пілотний проєкт RocketGPT може сприяти ширшому впровадженню в ULA та потенційно більшому впровадженню в оборонному секторі аерокосмічної галузі.

RocketGPT – це приклад того, як ШІ починає глибоко проникати в керування складними динамічними системами. У подальшому можна очікувати на поліпшення інтеграції з інженерними системами: наприклад, симуляції результатів випробувань; більш суворої сертифікації та аудиту ШІ-систем (що важливо). В ІТМ НАН України розробляється концепція ПГУ-машини для застосування, зокрема в авіакосмічних технологіях [5].

Треба зазначити, що з точки зору технологічного розвитку, усі світові гіганти ІТ-індустрії в найближчі роки націлені на створення AGI (Artificial General Intelligence). Створення AGI пов'язують з технологічною сингулярністю, тобто якісно новим рівнем управління великими системами. Проміжним варіантом на сучасному етапі є використання ансамблю ВММ (ансамблю ШІ-асистентів). Загальний висновок такий: розробка систем керування автономними системами на основі (майбутнього) AGI – це передовий край (майбутньої) авіакосмічної науки та техніки. Саме тому, важлива ціль розробки ПГУ полягає в розумінні перших принципів та особливостей функціонування «систем з AGI» або «агентивного ШІ».

Розглянемо начерк моделі поведінки автономної / когнітивної системи. Оптимальна політика поведінки спонукає автономного / когнітивного агента: збирати інформацію про своє середовище, що відповідає зниженню невизначеності; розширювати простір можливостей у будь-якій ситуації, що підвищує гнучкість; здобувати контроль над своїм середовищем (формувати нішу), що відповідає підвищенню передбачуваності майбутніх станів світу; розширювати каузальну внутрішню Модель Світу з метою формування шаблонів поведінки та пошуку ресурсно-економних описів (критичний стан; обчислення на краю хаосу), що знижує енерговитрати, підвищує швидкість прийняття рішень та передбачуваність майбутніх станів світу; удосконалювати засоби комунікації для формування ефективних команд / симбіозів, що підвищує складність колективно розв’язуваних за одночасного зниження когнітивного навантаження; вдосконалювати агентність, що передбачає ситуаційну поінформованість, ощадливе спілкування та гнучке / ефективне використання ресурсів (ситуаційного простору можливостей).

Агент має знаходити закономірності та працювати на певному рівні грубої зернистості (розпливчатості), щоб забезпечити швидкість реакції («виживання»). Груба зернистість може включати різні форми реорганізації даних (ПГУ-концепція «мережі начерків»). Мережа мереж начерків формує цілісну каузальну «Модель Світу», включаючи різні види досвіду, зокрема просторовий досвід.

Як загальна архітектура агентивного ШІ для КТС запропонована нова концепція «Системи 0/1/2/3» [9]. Це дозволяє аналізувати і розуміти поведінку складних систем, спрощуючи їх до фундаментальних характеристик (суть «граничного переходу»). Структура «Системи 0/1/2/3»

представлена як розширення теорії двох процесів, що використовує модель чотирьох процесів пізнання. Розширюючи Систему 1 (швидке, інтуїтивне мислення) та Систему 2 (повільне, обдумане мислення), ПГУ включає Систему 0, яка є докогнітивними втіленими процесами, та Систему 3, яка охоплює колективний інтелект. Система 0 підкреслює морфологічні обчислення та пасивну динаміку інкубації знань, ілюструючи, як фізичне втілення забезпечує адаптивну поведінку (приклади: формування мереж начерків; «стріли пізнання» в задачах розрізнення).

Ця всеосяжна структура (Система 0/1/2/3) охоплює діапазон від швидких втілених реакцій до колективного інтелекту, що повільно розвивається, пропонуючи єдину перспективу пізнання КТС у різних тимчасових масштабах, рівнях абстракції та формах гібридного інтелекту. Модель «Системи 0/1/2/3» забезпечує нову теоретичну основу для розуміння взаємодії адаптивних та когнітивних процесів, тим самим відкриваючи нові можливості для досліджень у галузі авіакосмічних / автономних технологій, когнітивної науки, ШІ, робототехніки та колективного інтелекту.

ПГУ пропонує принцип надефективності, який передбачає, що внутрішній стан КТС самоорганізується до критичного режиму, де досягається оптимальна ефективність виконання завдань розрізнення, а саме: максимальні адаптивність, гнучкість, предиктивність, швидкість прийняття консенсусного рішення з урахуванням досвіду, економічність, а також антикрихкість [9].

Висновки та рекомендації щодо застосування запропонованої методології керування автономними (авіакосмічними) системами.

ПГУ формує концептуальну основу методології керування несправностями та запобігання загрозливим станам складної техніки. Це дозволяє забезпечити необхідний рівень функціональної відмовостійкості та катастрофостійкості. Для забезпечення гнучкості в умовах обмежених ресурсів та радикальної невизначеності в контур управління або прийняття рішень доцільно включити ансамбль LLM / LGP-Machine.

ПГУ описує методологію швидких рішень на основі концепцій критичності та «континууму задач розрізнення». Це дозволяє також знаходити економні евристики з максимальним залученням ситуативних можливостей / ресурсів. Логіка миттєвих рішень дуже важлива саме для авіакосмічних прикладних задач.

ПГУ описує багатомасштабний фазовий простір динамічної інтелектуальної системи. Усі дії / сценарії одночасно плануються та реалізуються на всіх масштабних рівнях із залученням відповідних ресурсів. Це дозволяє динамічно об’єднувати стратегічний, тактичний та оперативний рівні управління (динамічна логіка підрулювання). У подальшому необхідно дослідити механізм втіленої взаємодії різних масштабних рівнів.

ПГУ описує, як система керування автономної системи постійно самовдосконалюється. Це може вести до постійного перегляду (оптимізації) прийнятих рішень щодо виконання місій як з точки зору цілей, так і з точки зору залучених ресурсів. З урахуванням швидких реакцій на несподівані перепони в виконанні місій це повністю відповідає концепції «агентивного (передового) ШІ», як найбільш сучасної технології керування автономними системами.

ПГУ дозволяє проводити аналіз зв’язності та зростання інтелекту у складних динамічних інтелектуальних системах з точки зору самоорганізації, саморефлексії, самодобудови, безперервної взаємної причинності, консенсусного управління, розширених пам’яті та пізнання. Це дозволяє впровадити принцип надефективності, який передбачає, що внутрішній стан когнітивних технічних систем самоорганізується до критичного режиму, де досягається оптимальна ефективність виконання завдань розрізнення / управління. Бажано в галузі застосування в авіакосмічній сфері забезпечити дію принципу надефективності.

ПГУ дозволяє розробити моделі адаптивних процесів та режимів усвідомлення сенсорних сигналів у КТС. Це дозволяє створити моделі когнітивних сенсорів, які компенсують збої у показах датчиків на основі консенсусних рішень та «штучного конектому». Бажано впровадити цю модель в реальні автономні технології (в усіх середовищах).

Список бібліографічних посилань

1. Evans J., Bratton B., Arcas B. Agentic AI and the next intelligence explosion // Science. 2026. Volume 391, No. 6791. DOI: ttps://doi.org/10.1126/science.aeg1895 (дата звернення: 07.05.2026).

2. NASA Platform for Autonomous Systems. URL: https://techport.nasa.gov/projects/94884 (дата звернення: 07.05.2026).

3. Прокопчук Ю. О. Інтуїція: досвід формального дослідження. Дніпро : ПДАБА, 2022. 724 с.

4. Прокопчук Ю. О., Носов П. С., Зінченко С. М. Концепція «когнітивних технічних систем» як методична основа забезпечення відмовостійкості, катастрофостійкості та антихрупкості // Праці II Міжнародного симпозіуму

«Інтелектуальні рішення – С: Теорія прийняття рішень» (Київ – Ужгород, 2021 р.). Київ, 2021. С. 135–136.

5. Прокопчук Ю. О. Відкрита еволюція систем / агентів, що самовдосконалюються: LGP-машина // Матеріали XX наукових читань «Дніпровська орбіта – 2025». Дніпро, 2025. С. 117–124.

6. Прокопчук Ю. О., Пошивалов В. П. Автономні системи: підхід до верифікації на основі концепції «живої розумної системи» // Матеріали XIX наукових читань «Дніпровська орбіта – 2024». Дніпро, 2024. С. 130–136.

7. Prokopchuk Y. Combinatorial, Expanding Phase Space of Cognitive Dynamic Systems // Матеріали XXVII Міжнародного науково-практичного семінару «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування» (Кропивницький – Запоріжжя – Київ, 4–6 червня 2025 р.). Запоріжжя, 2025. С. 175–183.

8. Prokopchuk Y. Meaning as Wholeness Experienced // Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Seminar «Combinatorial Configurations and Their Applications». Zaporizhzhia, 2026.

9. Prokopchuk Y. The Intertwined Nature of Simplicity and Complexity: A New Paradigm for Understanding Complex Adaptive / Autonomous / Living Self-Improving Smart Systems // Proceedings of the Scientific and Practical Conference «Information Technologies in Metallurgy and Machine Building – ITMM 2026». Dnipro, 2026.

10. Carrasco A., Rodriguez-Fernandez V., Linares R. Large Language Models as Autonomous Spacecraft Operators in Kerbal Space Program // Advances in Space Research. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.asr.2025.06.034 (дата звернення: 07.05.2026).

УДК 629.7:[004.94+004.896]]

Внуков Василь Олексійович, курсант;
Герасімова Мирослава Вікторівна, курсант;
Рубльова Раїса Іванівна, старший викладач,
Харківський національний університет
Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків

ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ, BIG DATA ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Анотація. *Цифрове моделювання аерокосмічних систем, технології Big Data, інтелектуальне управління, концепція Digital Twin, економічна ефективність цифровізації.*

Ключові слова: *цифрове моделювання, Big Data, Digital Twin, штучний інтелект, аерокосмічна галузь, економічна ефективність.*

Abstract. *Digital modelling of aerospace systems, Big Data technologies, intelligent control, the Digital Twin concept, the economic benefits of digitalisation,*

Keywords: *Digital modelling, Big Data, Digital Twin, Artificial Intelligence, Aerospace industry, Cost-effectiveness.*

Сучасна аерокосмічна галузь досягла піку складності, де традиційні методи проєктування та випробувань стають занадто повільними та дорогими. В умовах глобальної конкуренції та жорстких вимог до безпеки перехід до цифрової парадигми (Digital-First) є критичним. Поєднання цифрового моделювання, обробки великих даних (Big Data) та штучного інтелекту дозволяє не просто пришвидшити розробку, а й створювати системи, здатні до самодіагностики та адаптивного управління, що раніше було технічно неможливим.

Метою доповіді є комплексне дослідження синергії цифрових двійників, аналітики великих даних та інтелектуальних систем у процесі проєктування та експлуатації аерокосмічної техніки; доведення ефективності переходу від натурних випробувань до віртуальних симуляцій та обґрунтування ролі ШІ у прийнятті управлінських рішень.

Основні завдання:

1. Проаналізувати концепцію «цифрового двійника» як інтегрованої моделі виробу на всіх етапах життєвого циклу.

2. Дослідити механізми збору та обробки Big Data, що надходять від складних технічних систем.

3. Оцінити економічний та часовий ефект від впровадження інтелектуальних систем (на прикладі заміни реальних пусків двигунів цифровими моделями).

4. Визначити архітектуру інтелектуальних систем управління, що базуються на прогнозних моделях ШІ.

Сучасна аерокосмічна галузь перебуває на етапі глобальної цифрової трансформації. Створення складних систем, таких як газотурбінні двигуни або космічні апарати, більше неможливе без інтеграції передових інформаційних технологій. Традиційні методи проєктування, що базуються на послідовних натурних випробуваннях, поступаються місцем концепції «цифрової першості» (Digital-First), де більша частина життєвого циклу виробу проходить у віртуальному середовищі.

Для однозначного розуміння матеріалу доповіді необхідно визначити ключові поняття.

Цифрове моделювання (Digital Modeling) – процес створення математичного та візуального опису об’єкта або системи. В аерокосмічній

техніці це включає багаторівневі симуляції (CFD, FEA), які дозволяють передбачити поведінку матеріалів та механізмів під екстремальними навантаженнями.

Цифровий двійник (Digital Twin) – динамічна цифрова копія фізичного об’єкта, яка постійно оновлюється на основі даних з датчиків у реальному часі та здатна симулювати його стан протягом усього терміну експлуатації.

Великі дані (Big Data) – великі обсяги структурованої та неструктурованої інформації (телеметрія, логи випробувань, виробничі параметри), що вимагають спеціалізованих інструментів для аналізу через свою масштабність та швидкість оновлення.

Інтелектуальні системи управління (Intelligent Control Systems) – програмно-апаратні комплекси, що використовують алгоритми ШІ та машинного навчання для автономного прийняття рішень, оптимізації режимів роботи та прогнозування відмов.

Актуальність цього дослідження зумовлена такими трьома критичними факторами:

– економічна доцільність: вартість одного реального пуску або стендового випробування авіадвигуна вимірюється мільйонами доларів. Перехід до формули «1000 віртуальних запусків замість 1000 реальних» дозволяє скоротити витрати на розробку на 25–40%;

– скорочення термінів (Time-to-Market): цифровізація дозволяє виявляти конструктивні помилки на ранніх стадіях, що в рази прискорює сертифікацію та введення техніки в експлуатацію;

– технологічна складність: сучасні літальні апарати генерують терабайти даних за один політ. Без Big Data та ШІ людина фізично не спроможна обробити такий обсяг інформації для забезпечення безпеки та ефективності.

Сучасне проєктування аерокосмічної техніки пройшло шлях від статичних креслень до багатокомпонентних інтелектуальних систем. Ключовим етапом цієї еволюції стала поява Цифрового двійника (Digital Twin). Процес розробки складних вузлів (наприклад, камер згоряння або лопаток турбін) еволюціонував через кілька стадій:

– CAD (Computer-Aided Design): Створення точної 3D-геометрії об’єкта;

– CAE (Computer-Aided Engineering): Додавання фізичних розрахунків. Це дозволяє проводити аналіз міцності (FEA) та газодинамічні розрахунки (CFD) безпосередньо в цифровому середовищі;

– MBSE (Model-Based Systems Engineering): Системний підхід, де модель стає єдиним джерелом істини для всіх інженерів (конструкторів, технологів, розрахунників).

Замість побудови дорогого прототипу і тестуваннння його на стенді, інженери створюють віртуальний полігон. Це дозволяє симулювати екстремальні режими роботи, які небезпечно або неможливо відтворити в реальності; виконувати параметричну оптимізацію: програма автоматично змінює тисячі параметрів конструкції, щоб знайти найкращий варіант (наприклад, найлегшу вагу при максимальній міцності).

Приклад із «1000 віртуальними запусками замість 1000 справжніх» – це не просто економія пального. Це можливість зібрати статистику відмов

ще до того, як перший метал буде відлито на заводі. ШІ аналізує результати цих 1000 запусків і вказує на «слабкі місця» конструкції.

Таблиця 1

Джерела та дані для графіків ефективності

Параметр порівняння	**Традиційне проєктування (Physical-First)**	**Цифрове проєктування (Digital-Twin / eSeries)**
Кількість конструкторських ітерацій	5–15 (обмежена часом та бюджетом)	1000+ (автоматизована оптимізація)
Тривалість однієї ітерації	Місяці (виготовлення + стенд)	Години / Дні (рендер симуляції)
Вартість невдалої ітерації	Дуже висока (втрата прототипу)	Мінімальна (витрати на електроенергію)
Глибина аналізу	Поверхнева (тільки критичні точки)	Глибока (аналіз мільйонів сценаріїв)

«Застосування ШІ та великих даних трансформує ітераційний процес. Якщо в класичній школі проєктування двигуна ми були обмежені 3–5 дорогими стендовими випробуваннями (традиційні ітерації), то впровадження інтелектуальних систем дозволяє провести до 1000 "цифрових пусків" у різних кліматичних та навантажувальних умовах ще до створення першого реального зразка (Джерело: NASA Digital Twin Roadmap).»

В аерокосмічній галузі Big Data – це не просто великий обсяг інформації, а критичний ресурс, що забезпечує «живучість» цифрових двійників та точність ШІ-моделей. Сучасний літак або ракетний двигун під

час одного випробувального польоту може генерувати від 500 ГБ до декількох терабайт даних.

Інформаційний потік формується на трьох основних рівнях:

– виробничий (Industry 4.0): дані про мікронні допуски при виготовленні деталей, результати рентгенівського контролю лопаток турбін, параметри композитних матеріалів. Це дозволяє враховувати індивідуальні особливості кожної одиниці техніки;

– випробувальний: дані з тисяч тензодатчиків, термопар та акселерометрів під час стендових випробувань. Саме тут формується база для «1000 віртуальних запусків»;

– експлуатаційний (телеметрія): потік даних у реальному часі з бортів, що перебувають у повітрі. Сюди входить параметрична інформація про роботу двигуна, вібрації, тиск та температуру в різних контурах.

Традиційні бази даних не здатні обробляти такі масиви. В аерокосмічному секторі використовують:

– Data Lakes (Озера даних): сховища для неструктурованих даних (сирі сигнали датчиків), які чекають на подальший аналіз;

– Edge Computing (Граничні обчислення): обробка частини даних безпосередньо на борту літака або на випробувальному стенді, щоб миттєво реагувати на критичні зміни, не чекаючи передачі в хмару;

– хмарні платформи: системи на кшталт Airbus Skywise або Microsoft Azure for Aerospace, які об’єднують дані цілих парків техніки для глобального аналізу.

Головна проблема Big Data – це «шум». Штучний інтелект використовує методи Data Mining (інтелектуального аналізу даних), щоб

виявляти аномалії – знаходити мікроскопічні відхилення у вібрації підшипників, які людське око не помітить на графіку, але які сигналізують про руйнування за 100 годин до аварії; прогнозувати ресурс: розраховувати реальний знос деталей на основі фактичних навантажень, а не просто за кількістю відпрацьованих годин.

Приклад: завдяки аналізу великих даних компанія Rolls-Royce змогла змінити модель обслуговування двигунів з «ремонту за графіком» на «ремонт за станом», що підвищило доступність літаків на 15–20%.

ШІ в аерокосмічній галузі виступає не як заміна пілота чи інженера, а як інструмент для обробки надвисоких обсягів інформації. Прискорення симуляцій: традиційні методи розрахунку газодинаміки (CFD) можуть тривати тижні. Нейронні мережі, навчені на попередніх розрахунках, видають результат за хвилини з похибкою менше 1%, що дозволяє проводити ті самі «1000 віртуальних пусків» за один робочий день.

Генеративний дизайн: ШІ пропонує оптимальну форму деталей (наприклад, кронштейнів двигуна), яку неможливо спроєктувати вручну, зменшуючи вагу на 20–30% при збереженні міцності. PHM (Prognostics and Health Management): алгоритми ШІ аналізують вібрації та температуру, виявляючи ознаки втоми металу задовго до того, як вони стануть критичними.

Центральним елементом стає Digital Thread (Цифрова нитка) – наскрізний потік даних, що пов’язує проєктування, виробництво та експлуатацію.

Єдине інформаційне середовище: ШІ інтегрує дані від різних моделей (теплових, механічних, електронних) у єдину систему підтримки прийняття рішень.

Зниження ризиків: система автоматично блокує режими роботи, які за даними Big Data призвели до аварій у минулому, мінімізуючи людський фактор.

Впровадження цифрового моделювання та Big Data дозволяє досягти таких економічних показників (на основі даних NASA та Boeing) (табл. 2).

Таблиця 2

Стаття витрат / Показник	**Традиційний метод**	**З використанням ШІ та Digital Twin**	**Ефект**
Витрати на випробування	100% (базові)	40%	-60%
Час на сертифікацію	5–7 років	3–4 роки	-40%
First-Time Quality	65%	95%	+30%
Операційні витрати (OPEX)	Високі (плановий ремонт)	Низькі (ремонт за станом)	-20%

Завдяки прецизійному налаштуванню параметрів згоряння пального через інтелектуальні системи управління, вдається знизити викиди CO_2 на 15% та зменшити питому витрату пального. В умовах дефіциту ресурсів та жорстких екологічних норм це стає критичною перевагою.

Майбутнє галузі лежить у площині квантових симуляцій – здатності моделювати поведінку нових сплавів на атомному рівні.

Повністю автономних заводів, де Big Data керує 3D-друком деталей безпосередньо з цифрової моделі.

Green Aviation – створення водневих та електричних двигунів, проєктування яких неможливе без надпотужного цифрового моделювання.

За результатами проведеного дослідження можна зробити такі висновки.

1. Синергія технологій: цифрове моделювання, Big Data та ШІ перестали бути окремими інструментами. Сьогодні – це єдина інтелектуальна екосистема, яка визначає конкурентоспроможність аерокосмічної техніки.

2. Перехід до віртуальності. Концепція «1000 віртуальних запусків замість 1000 справжніх» є не лише способом економії коштів, а й методом підвищення безпеки, оскільки дозволяє дослідити сценарії, які неможливо відтворити фізично.

3. Трансформація фахівця. Роль сучасного інженера зміщується від безпосереднього розрахунку до управління алгоритмами та інтерпретації результатів Big Data.

4. Стратегічне значення. Держави та компанії, що ігнорують цифрову трансформацію, втрачають здатність створювати сучасні авіаційні двигуни та космічні апарати через їх критичну складність.

Список використаних джерел

1. Digital twin technology in smart manufacturing // Deloitte. URL: https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing-industrial-products/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html (дата звернення: 05.05.2026).

2. Як оцінити ризики та можливості на етапі discovery // WEZO. URL: https://wezom.com.ua/ua/blog/yak-otsiniti-riziki-ta-mozhlivosti-na-etapi-discovery (дата звернення: 05.05.2026).

3. How digital twin technology can enhance aviation // Rolls-Royce. URL: https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/discover/2019/how-digital-twin-technology-can-enhance-aviation.aspx (дата звернення: 05.05.2026).

4. Roper W. There Is No Spoon. Washington : U.S. Department of the Air Force, 2020. URL: https://www.af.mil/Portals/1/documents/2020SAF/There_Is_No_Spoon_Digital_Acquisition_7_Oct_2020_digital_version.pdf (дата звернення: 05.05.2026).

5. Digital Twin: Definition & Case Studies // American Institute of Aeronautics and Astronautics. URL: https://aiaa.org/wp-content/uploads/2024/12/digital-twin-institute-position-paper-december-2020.pdf (дата звернення: 05.05.2026).

6. Валера Фернандо. Що таке Model-Based Systems Engineering (MBSE)? // Visure. Дата оновлення: 14.05.2025. URL: https://lnk.ua/V9LUSz4r9 (дата звернення: 05.05.2026).

УДК 666.3/.7:629.7

Кривобок Руслан Вікторович, завідувач науково-дослідної частини;
Захаров Артем Вячеславович, заступник завідувача науково-дослідної частини;
Волощук Валентина Василівна, старший науковий співробітник науково-дослідної частини,
Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ РАДІОПРОЗОРОЇ КЕРАМІКИ НА ОСНОВІ АЛЮМОСИЛІКАТІВ ДЛЯ АВІАЦІЙНОЇ ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ

Анотація. *Розглянуто сучасні підходи до створення радіопрозорої кераміки на основі алюмосилікатних систем для авіаційної та ракетно-космічної техніки. Показано актуальність використання високотемпературних керамічних матеріалів у системах радіолокації, навігації, супутникового зв'язку та гіперзвукових літальних апаратах. Проаналізовано особливості структури та властивостей радіопрозорих керамічних матеріалів на основі віллеміту, славсоніту та цельзіану. Розглянуто*

технологічні аспекти отримання кераміки із застосуванням напівсухого пресування, шлікерного лиття та адитивних технологій. Встановлено оптимальні технологічні параметри формування та випалу матеріалів. Наведено фізико-механічні та діелектричні характеристики розробленої кераміки. Показано перспективність використання цифрового моделювання та штучного інтелекту для оптимізації складу і прогнозування властивостей радіопрозорої кераміки.

Ключові слова: *радіопрозора кераміка, авіаційна техніка, ракетно-космічна техніка, адитивні технології, 3D-друк.*

Abstract. *The article considers modern approaches to developing radio-transparent ceramics based on aluminosilicate systems for aerospace and rocket applications. The relevance of high-temperature ceramic materials for radar systems, navigation, satellite communications, and hypersonic aircraft is demonstrated. Structural features and properties of radio-transparent ceramic materials based on willemite, slawsonite, and celsian are analyzed. Technological aspects of ceramic fabrication using semi-dry pressing, slip casting, and additive manufacturing are considered. Optimal technological parameters for forming and firing were determined. Physical, mechanical, and dielectric properties of the developed ceramics are presented. The перспективність of digital modeling and artificial intelligence methods for the optimization of composition and the prediction of radio-transparent ceramic properties is demonstrated.*

Keywords: *radio-transparent ceramics, aerospace engineering, rocket-space engineering, additive technologies, 3D printing.*

Сучасний розвиток авіаційної та ракетно-космічної техніки нерозривно пов’язаний з використанням нових функціональних матеріалів, здатних працювати в умовах надвисоких температур, значних механічних навантажень та інтенсивного електромагнітного випромінювання. Особливого значення це набуває при створенні перспективних

гіперзвукових літальних апаратів, супутникових платформ, безпілотних систем, сучасних засобів радіолокації, навігації та зв’язку [1].

Одним із найважливіших класів таких матеріалів є радіопрозора кераміка, яка забезпечує стабільне проходження електромагнітних хвиль із мінімальними втратами та спотвореннями сигналу. Радіопрозорі матеріали відіграють важливу роль у створенні високотехнологічного обладнання, забезпечуючи ефективну роботу систем, що використовують електромагнітні хвилі у радіочастотному діапазоні. Вони застосовуються для захисту антен, хвилеводів та інших елементів електронних пристроїв, зберігаючи їх функціональні характеристики навіть за екстремальних умов експлуатації [2].

У зв’язку з цим до сучасних радіопрозорих керамічних матеріалів висуваються певні специфічні вимоги, серед яких стабільність радіофізичних характеристик при високих робочих температурах, стійкість до теплового удару, низька теплопровідність і теплоємність, висока механічна міцність та довговічність.

Найбільш поширеними серед радіопрозорих матеріалів залишаються кварцові, кремнеземні та алюмосилікатні кераміки. Кварцова кераміка характеризується низькою діелектричною проникністю та високою радіопрозорістю, завдяки чому широко використовується у виробництві обтічників і антенних вікон. Водночас матеріали на основі оксиду алюмінію мають підвищену механічну міцність і термостійкість, що дозволяє застосовувати їх у конструкціях, які працюють в умовах значних теплових та механічних навантажень [2].

Сучасні тенденції розвитку радіопрозорої кераміки спрямовані на створення багатофункціональних матеріалів із керованою

мікроструктурою та заданими електрофізичними характеристиками. Значна увага приділяється наноструктурованим матеріалам, пористим системам, керамічним композитам, метаматеріалам та ультрависокотемпературним керамікам [3].

Метою роботи є дослідження інноваційних технологій отримання радіопрозорої кераміки на основі алюмосилікатних систем для використання в авіаційній та ракетно-космічній техніці, а також встановлення оптимальних технологічних параметрів формування та випалу матеріалів.

Матеріали та методи досліджень. Унікальними в цьому сенсі є керамічні матеріали, отримані шляхом синтезу ультрадисперсних кристалічних фаз, оскільки вони поєднують високі механічні, теплофізичні та електродинамічні характеристики й можуть працювати при температурах до 1800°С. Водночас існуючі керамічні функціональні матеріали – кварцові, цирконієві, високоглиноземні, нітрид-силіцієві – мають низку недоліків, пов’язаних із багатостадійною високотемпературною технологією їх отримання [4].

У зв’язку з цим як перспективні керамічні матриці для створення високотемпературних радіопрозорих матеріалів розглянуто:

– віллеміт – силікат цинку;
– славсоніт – алюмосилікат стронцію;
– цельзіан – алюмосилікат барію.

Для отримання дослідних зразків застосовано двостадійну керамічну технологію, яка включала синтез цільової кристалічної фази та подальше формування і високотемпературний випал виробів. Температурний

інтервал спікання становив 1200–1350°C залежно від фазового складу матеріалу.

Одним із ключових факторів формування структури та властивостей радіопрозорої кераміки є метод виготовлення напівфабрикатів. У роботі досліджено три основні методи формування: напівсухе пресування; адитивні технології (3D-друк) та шлікерне лиття [5].

Метод напівсухого пресування забезпечує високу точність геометричних розмірів, щільну структуру та добрі механічні характеристики кераміки. Водночас він потребує використання складних пресформ і має певні обмеження щодо геометрії виробів.

Одним із найперспективніших напрямів сучасного виробництва радіопрозорої кераміки є адитивні технології, або 3D-друк. Протягом останніх років вони активно впроваджуються в авіаційній та космічній промисловості завдяки можливості створення виробів надскладної форми, які практично неможливо отримати традиційними методами.

Використання адитивних технологій дозволяє формувати стільникові структури, внутрішні канали охолодження, градієнтні матеріали та легкі пористі конструкції з високими функціональними характеристиками. Особливого значення адитивні технології набувають при створенні радіопрозорих обтічників для перспективних гіперзвукових літальних апаратів.

Окремим перспективним напрямом розвитку сучасного керамічного матеріалознавства є використання цифрового моделювання, методів штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування фазоутворення, оптимізації складів та керування властивостями радіопрозорої кераміки.

Шлікерне лиття також широко застосовується при виготовленні радіопрозорих елементів складної геометрії. Основною перевагою цього методу є можливість отримання тонкостінних великогабаритних виробів, зокрема ракетних обтічників та антенних ковпаків.

У результаті проведених досліджень встановлено оптимальні технологічні параметри отримання радіопрозорої кераміки на основі систем цельзіану, славсоніту та віллеміту, що забезпечують формування щільної мікроструктури та комплекс високих фізико-механічних і діелектричних характеристик.

Експериментально встановлено, що кераміка цельзіанового, славсонітового та цельзіан-славсонітового складів набуває найкращих властивостей при температурі випалу 1350°С та ізотермічній витримці протягом 4 годин. Для славсоніт-віллемітової кераміки оптимальними виявилися температура випалу 1150°С та ізотермічна витримка 1 година.

Таблиця

Характеристики розроблених радіопрозорих керамічних матеріалів

Характеристики	**Склад керамічних обтічників**:			
	РПК-С	**РПК-Ц**	**РПК-ЦС**	**РПК-СВ**
Водопоглинання, %	0,7	1,3	1,0	0,6
Уявна густина, кг/м^3	2800	2700	3060	2980
Відкрита пористість, %	1,6	2,2	0,8	1,8
Межа міцності при стиску, МПа	730	560	364	452
Межа міцності при згині, МПа	368	276	172	202
Діелектрична проникність при частоті 1 кГц	6,42	6,80	5,20	4,56

Розроблені керамічні матеріали за своїми діелектричними та електродинамічними характеристиками належать до класу радіопрозорої кераміки. Досліджені характеристики демонструють стабільність у мікрохвильовому діапазоні частот, що є надзвичайно важливим при створенні елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки [6].

Температура експлуатації виробів на основі славсоніт-віллемітової кераміки обмежується 1100°С, однак навіть за таких умов їх застосування є перспективним для окремих напрямів авіа- та ракетобудування.

Основними виробами з радіопрозорої кераміки є елементи антен і хвилеводів, а також носові обтічники. Радіопрозорі обтічники виконують функцію захисту антенних систем від зовнішніх впливів і водночас забезпечують мінімальне спотворення електромагнітного сигналу. Елементи антенних систем та хвилеводів на основі технічної кераміки широко застосовуються у супутниковому зв’язку, радіолокаційних комплексах, системах навігації та бортовій електроніці. Розробка високотемпературних радіопрозорих матеріалів є важливим напрямом забезпечення технологічної незалежності України у сфері авіаційної, космічної та оборонної техніки [7].

Висновки. Розглянуто сучасні підходи до створення радіопрозорої кераміки на основі алюмосилікатних систем для авіаційної та ракетно-космічної техніки. Встановлено перспективність використання віллеміту, славсоніту та цельзіану як керамічних матриць для отримання високотемпературних радіопрозорих матеріалів. Визначено оптимальні технологічні параметри формування та випалу розроблених матеріалів. Показано ефективність використання адитивних технологій та цифрового моделювання для створення кераміки нового покоління. Встановлено, що

розроблені матеріали мають стабільні електродинамічні характеристики у мікрохвильовому діапазоні та можуть бути використані при створенні елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Список бібліографічних посилань

1. Kenion T., Yang N., Xu C. Dielectric and mechanical properties of hypersonic radome materials and metamaterial design: a review // Journal of the European Ceramic Society. 2022. Volume 42, Issue 1. P. 1–17. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.10.006 (дата звернення: 10.05.2026).

2. Спряжені реакції в багатокомпонентній системі $SrO–BaO–Al_2O_3–SiO_2$ / Р. В. Кривобок та ін. // Питання хімії та хімічної технології. 2024. № 5. С. 138–145. (in Ukrainian). DOI: https://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VHHT/2024/5/Kryvobok.pdf. (дата звернення: 28.07.2026).

3. Silicate dielectric ceramics for millimetre wave applications / F. Kamutzki et al. // Journal of the European Ceramic Society. 2021. № 41. С. 3879–3894. DOI: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955221921001412 (дата звернення: 28.07.2026).

4. Research progress of high temperature resistant electromagnetic wave-transparent materials / T. Xiang et al. // Mater Rep. 2023. № 37 (18). С. 22090029. DOI: 10.11896/cldb.22090029.

5. Фазоутворення функціональних керамічних матеріалів для антенно-хвильоводних систем / О. Федоренко та ін. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2025. № 2. С. 104–111. DOI: https://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/337088 (дата звернення: 28.07.2026).

6. Теоретичні основи створення електротехнічної кераміки на основі системи RO (BaO, SrO, ZnO) – Al_2O_3 – SiO_2 : монографія / О. Ю. Федоренко та ін. Одеса, 2024. 104 с.

7. Керамічні радіопрозорі вікна для антенно-хвильових систем: технологія та властивості / О. Ю. Федоренко та ін. // Наукові дослідження з вогнетривів та технічної кераміки. 2025. № 125. С. 113–125. DOI: https://refractories-journal-ua.com/index.php/journal/article/view/133 (дата звернення: 28.07.2026).

УДК 629.7(477.54)(091)

Борзова Вікторія Вікторівна, голова комітету,
Громадський координаційний комітет «Харків ракетно-космічний»,
м. Харків

МІСТО КОСМІЧНОЇ СЛАВИ

Анотація. *Викладено стислу інформацію про історичну роль Харківщини у становленні та розвитку вітчизняної ракетно-космічної галузі, про діяльність комітету щодо вивчення, збереження та популяризації цієї яскравої історії.*

Ключові слова: *Харків ракетно-космічний, ракетно-космічна галузь, історія Харківщини.*

Abstract. *The report provides brief information about the historical role of the Kharkiv region in the formation and development of the domestic rocket and space industry, and about the activities of the committee to study, preserve, and popularize this vivid history.*

Keywords: *Kharkiv Rocket and Space, rocket and space industry, history of Kharkiv region.*

Харків по праву заслуговує на звання «Місто космічної слави» [1], адже наші фахівці мали безпосередній стосунок до становлення і розвитку галузі та до підготовки й здійснення першого польоту людини в космос. Це ті люди-легенди, хто створював, випробовував та експлуатував

надскладну техніку, проводив дослідження, готував фахівців. На Харківщині працювали 32 підприємства, організації та установи галузі із загальною чисельністю близько 120 тисяч осіб. З Харківщиною пов'язана доля 22 космонавтів, які побували на навколоземній орбіті.

Громадський координаційний комітет (ГКК) «Харків ракетно-космічний» створений у жовтні 2011 р. з метою ретельного вивчення, дбайливого збереження і якнайширшої популяризації яскравої та величної історії ракетно-космічної галузі Харківщини. Геннадій Михайлович Тупало – засновник і багаторічний голова комітету – запропонував проєкт «Харків – місто космічної слави» і просував його на всіх рівнях.

Логотип Громадського координаційного комітету
«Харків ракетно-космічний»

ГКК працює у кількох напрямках і взаємодіє з багатьма галузевими підприємствами, організаціями, установами та вишами міста для реалізації своєї місії. У тісній співпраці з міськрадою триває робота в архітектурному напрямі. У 2011 р., з нагоди 50-річчя першого польоту людини в космос, на алеї на вулиці 23 Серпня встановлено пам’ятний камінь на честь харківських працівників ракетно-космічної галузі. Відтоді це місце проведення мітингів та урочистих заходів.

Пам’ятний камінь на алеї по вул. 23 Серпня

З ініціативи ГКК у 2015 році було проведено конкурс на право створення архітектурно-меморіальної композиції «Харків космічний», у якому взяли участь досвідчені майстри і студенти профільних вишів. На замовлення комітету в 2017 р. ТОВ «Ароф» розробило рендер (візуалізацію) проєкту архітектурного комплексу, а 2020 року свій варіант запропонував Харківський архітектурно-проєктний центр.

Протягом багатьох років ГКК проводив тематичні бесіди і зустрічі з нагоди знакових дат в історії космонавтики з колективами та учнями харківських шкіл і коледжів, студентами вишів, а також з ветеранами задля увічнення історичної пам’яті, забезпечення наступності поколінь, виховання і спонукання молоді до вивчення історії заради збереження найкращих традицій та розкриття її творчого потенціалу.

Кілька років поспіль, починаючи з 2012 р., у Харківській обласній філармонії у квітні відбувалися чудові тематичні концерти, глядачі були дуже розчулені і вдячні артистам. Завдяки співпраці ГКК з Харківським національним університетом мистецтв ім. І. П. Котляревського, Спілкою композиторів та митцями написані музичні твори: гімн «Харків космічний» (муз. Олександра Глотова, вірші Валерія Болотова у перекладі Яна Харитонова); Космічна прелюдія для симфонічного оркестру заслуженого діяча мистецтв України композитора Миколи Стецюна; ораторія «Космічне сходження» для симфонічного оркестру, хору і чотирьох солістів композитора Руслана Каширцева; гімн комітету «Харків ракетно-космічний» (муз. заслуженого артиста естрадного мистецтва України Яна Харитонова, вірші Олександра Полонського).

Прем’єра ораторії «Космічне сходження»
у Харківській обласній філармонії. 2019 р.

Дуже важливим напрямком роботи комітету є вшанування пам’яті видатних осіб. Проводяться урочисті меморіальні заходи і конференції у Музеї-планетарії «Харків космічний», Харківській державній науковій бібліотеці ім. В. Г. Короленка, Харківському національному університеті ім. В. Н. Каразіна, Національному аерокосмічному університеті «ХАІ», Національному технічному університеті «ХПІ». У газетах «Время», «Главное» публікувалися тематичні матеріали, у газеті «Слово ветерана Харківщини» публікуються статті до знакових дат; на обласному телебаченні створені документальні фільми, а також телепередачі з циклу «Грані історії» та «Не підлягає забуттю».

Протягом багатьох років 23 березня співробітники ГКК проводили меморіальні зустрічі біля могили члена першого загону космонавтів харків'янина Валентина Бондаренка, у них брали участь учні й колективи харківських шкіл, ветерани, представники місцевих органів влади і громадськості. З ініціативи ГКК вулиці міста отримали назви на честь Валентина Бондаренка (2013); директора НВО «Електроприлад», академіка НАН України Володимира Сергєєва (2016); директора Харківського приладобудівного заводу ім. Т. Г. Шевченка Олександра Шпеєра (2017). З нагоди 100-річчя від дня народження академіка В. Г. Сергєєва у 2014 р. Національний банк України випустив ювілейну монету, а до його 105-річчя у 2019 р. комітетом започатковано нагороду – Почесну медаль імені академіка Сергєєва.

Ювілейна монета на честь 100-річчя
з дня народження академіка В. Г. Сергєєва

ГКК бере активну участь у численних тематичних конференціях, форумах, брифінгах, а також організовує такі заходи на різних локаціях із запрошенням на них фахівців та експертів.

Конференція в НТУ «ХПІ». 19 квітня 2016 р.

Брифінг до Всесвітнього тижня космосу. МедіаХаб. 4 жовтня 2024 р.

Багато років триває тісна співпраця ГКК з Харківською державною науковою бібліотекою ім. В. Г. Короленка, де проводяться потужні тематичні заходи, до яких долучаються виробничники, науковці, освітяни, ветерани, музейні працівники, користувачі бібліотеки, харківські медіа, а також представники інших міст. Співробітники бібліотеки організовують фестивалі науки, аерокосмічні читання, у межах яких протягом року відбуваються цікаві заходи з нагоди важливих історичних дат: творчі зустрічі, презентації, конференції, виставки, лекції, круглі столи, екскурсії, демонстрація фільмів.

Важливою є і плідна співпраця ГКК з Харківським історичним музеєм ім. М. Ф. Сумцова. У музеї проводяться тематичні виставки до знакових дат в історії космонавтики і підприємств галузі, а також на честь видатних осіб, відбувається взаємна участь у проєктах ГКК, формується постійна експозиція, присвячена внеску Харківщини у становлення і розвиток ракетно-космічної галузі, розроблено мережу тематичних екскурсійних і туристичних маршрутів.

Виставка пам’яті Геннадія Михайловича Тупала «Людина, яка наближала зірки».
Грудень 2021 р.

У 2025 році ГКК започаткував проведення інтерв’ю з ветеранами ракетно-космічної галузі, які задокументовані відповідним чином і передані для зберігання до музею. Тепер вони можуть використовуватися не тільки для ознайомлення зацікавленими відвідувачами, а й дослідниками як джерела інформації при підготовці наукових праць.

Комітет також працює у літературному напрямі. 2012 р. створено і видано брошуру «Космічне сходження», у якій Олександр Полонський виклав короткий огляд харківських підприємств галузі; більш детальний огляд здійснив Микола Ігнатьєв у брошурі «Харків: космічне сходження» (2017). За підтримки Департаменту культури Харківської міськради у 2013 і 2017 рр. опубліковані створені силами комітету перший і другий томи поетичних збірок «Натхненні космосом» і «Позаземне тяжіння», а в 2022 р. створено третій том цієї серії «Зоряне покликання». Також за підтримки Департаменту культури міськради видано вибрані твори Олександра Полонського «Прозріння» (2015); члени комітету долучились до створення книги з нагоди 100-річчя з дня народження академіка В. Г. Сергєєва, яку видало НВП «Хартрон», силами комітету створено книгу спогадів Елеонори Рожкової «Дитя війни, або Привіт від бабусі» (2018). Комітет долучився до створення поетичної збірки «Колесо фортуни» творчого колективу «Однодумці» на вшанування пам'яті Олександра Полонського (2023); над створенням ґрунтовної енциклопедії «Харків космічний» наполегливо працює історик космонавтики Микола Ігнатьєв.

Протягом кількох років комітетом проводилися творчі конкурси для молоді «Харківська орбіта» в різних номінаціях: малюнки, фото, літературні твори – і для нас дуже важливо, що 2026 р. тематичний конкурс дитячого малюнка відновлено, представлені роботи учнів Дитячої художньої школи № 1 ім. І. Ю. Рєпіна в квітні експонувалися під час концерту «Позаземне тяжіння» в ХНАТОБі, надалі вони були виставлені у фоє станції метро «Ярослава Мудрого», а після – у Харківській обласній дитячій книгозбірні на вулиці Алчевських.

Виставка дитячих малюнків «Харківська орбіта: космічні мрії»
у фойє станції метро «Ярослава Мудрого». Квітень 2026 р.

Тематична фотовиставка, створена з ініціативи і силами ГКК у квітні 2026 р., експонувалася під час концерту в ХНАТОБі. Комітет має ютуб-канал «Харків ракетно-космічний», на якому викладено відео концертів, конференцій, урочистих мітингів, зустрічей тощо.

Отже, триває тісна співпраця ГКК з підприємствами галузі, НАУ «ХАІ», НТУ «ХПІ», Космічним агентством України, Аерокосмічним товариством України, громадською організацією «Союз "Криловці"», Музеєм-планетарієм «Харків космічний», Харківським історичним музеєм

ім. М. Ф. Сумцова, Харківською державною науковою бібліотекою ім. В. Г. Короленка, обласною та міською організаціями ветеранів України. Ця синергія виявилася дуже цікавою і дієвою, принесла вагомі результати, а ми, співробітники ГКК, набули безцінного досвіду, який прагнемо зберегти і, сподіваємося, надалі поглибити.

У 2025 році ми познайомились і знайшли нові форми співпраці з ГО «Харківський Медіа Хаб», медіацентром «Накипіло», ХНАТОБом, Харківською хореографічною школою, історичним факультетом ХНУ ім. В. Н. Каразіна, Харківським регіональним відділенням Національного центру з управління космічними засобами, Європейським цифровим інноваційним хабом EDIH.

Цікавою і плідною стала творча співпраця комітету з Харківським національним театром опери і балету ім. М. В. Лисенка; у квітні 2025 і 2026 років там відбулися грандіозні концерти до Дня працівників ракетно-космічної галузі України. На цих урочистих заходах із привітанням виступив Харківський міський голова Ігор Терехов і вручив Почесні грамоти й подяки працівникам підприємств, установ та вишів. У своїй промові мер підкреслив, що ракетно-космічний потенціал Харкова – це не лише історія, а критично важлива частина сучасної обороноздатності й майбутнього економічного відродження країни.

Вручення нагород. ХНАТОБ. Квітень 2025 р.

Ми пишаємося бути харків'янами, для нас Харків – не тільки рідне й улюблене місто, найпрекрасніше, хоч і пошрамоване! Це – місце сили, і для нас велика честь брати участь у культурному житті міста, віддати шану і висловити захоплення і вдячність усім причетним за працю, яка є важливою складовою і навіть епохою в історії Слобожанщини.

Колектив ГКК безмежно вдячний колегам, партнерам, друзям – усім тим, хто виявив цікавість і долучився до наших ініціатив і проєктів, енергійно, креативно, професійно і творчо поставився до пропозицій та взяв участь у тематичних заходах. Комітет висловлює щиру вдячність міському голові та департаментам міськради за сприяння і підтримку.

Список бібліографічних посилань

1. Харків ракетно-космічний // YouTube. Харків ракетно-космічний. URL: https://www.youtube.com/@Харьковракетно-космический/featured (дата звернення: 25.05.2026).

УДК 629.7(477.63-25)(091)

Мітіков Юрій Олексійович, професор, доктор технічних наук,
заступник директора;
Суха Ірина Валеріївна, доцент, кандидат технічних наук,
директор,
ННІ «Аерокосмічний інститут» Українського державного
університету науки і технологій, м. Дніпро

ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ДНІПРОВСЬКОЇ ШКОЛИ СИСТЕМ НАДДУВАННЯ ПАЛИВНИХ БАКІВ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ

Анотація. *Рішення перепрофілювати автозавод у Дніпрі в ракетний було прийнято 9.05.1951 р. У тому ж році наказувалося випустити 70 ракет Р-1. У 1952 р. плани стали астрономічними, до того ж додали випуск Р-2, а потім і Р-5. За відсутності повноцінного технологічного оснащення та профільних фахівців усі плани були зірвані. Для вирішення проблеми 1951 р. було створено фізико-технічний факультет при ДДУ для підготовки ракетників, а в 1952 р кафедру ракетних двигунів. Першим наборам студентів лекції читали досвідчені працівники заводу та його КБ. Практичні заняття проводились у цехах та лабораторіях заводу. У той час ні в Дніпрі, ні в Україні не було спеціалізованих науково-дослідних інститутів такого профілю. Наукою з перших днів почали займатися на фізико-технічному факультеті. Великі успіхи дійшли наукової школи систем наддування паливних баків двигунів, яку очолив Н. М. Бєляєв, згодом доктор наук, професор. Колектив школи об'єднав як університетських викладачів, так і співробітників КБ «Південне». Він вирішив низку складних наукових питань, обґрунтував і впровадив низку нових та ефективних систем*

наддування – парогазову, генераторні високотемпературні, хімічні, надхолодні. Наукова школа продовжує розвиватись у Українському державному університеті науки та технологій.

Ключові слова: *автозавод Дніпра, ракета Р-1, фіико-технічний факультет, перший випуск, школа систем наддування, проривні рішення, Бєляєв М. М.*

Abstract. *On May 9, 1951, a decision was made to repurpose the automobile plant in Dnipro into a rocket manufacturing facility. In the same year, an order was issued to produce 70 R-1 rockets. In 1952, production plans became significantly more ambitious, additionally including the R-2 rocket and later the R-5. Due to the lack of adequate technological equipment and qualified specialists, these plans were not fulfilled. To address this challenge, a Faculty of Physics and Technology was established in 1951 at Dnipro State University to train rocket engineers, and in 1952 the first department–Rocket Engines–was created. Lectures for the first student cohorts were delivered by experienced plant and design bureau specialists, while practical training was conducted directly in the workshops and laboratories of the plant. At that time, there were no specialized research institutes in the field of rocketry either in Dnipro or in Ukraine. From its earliest days, scientific research began to develop at the Faculty of Physics and Technology. Significant achievements were made by the scientific school of propellant tank pressurization systems, led by N. M. Belyaev, later a Doctor of Sciences and Professor. The school brought together university lecturers and employees of the Yuzhnoye Design Bureau. It addressed a range of complex scientific problems and developed and implemented several new and effective pressurization systems, including steam-gas, high-temperature gas-generator, chemical, and supercooled systems. This scientific school continues to evolve, and today its center has shifted to the Ukrainian State University of Science and Technologies.*

Keywords: *Dnipro automobile plant, R-1 rocket, establishment of the Faculty of Physics and Technology, first graduating class, pressurization systems school, breakthrough solutions, Belyaev N. M.*

Історію Дніпра ракетно-космічного зазвичай починають з Постанови Ради Міністрів СРСР за № 1558-768 від 9 травня 1951 р., згідно з якою

Дніпропетровський автозавод і Дніпропетровський шинний завод (тільки будувався) передавалися до Міністерства озброєнь з усіма будівлями та іншим майном для серійного виробництва балістичних ракет [1]. Та якщо дещо уважніше заглибитися в історію, то можна дізнатися і про такий цікавий факт. Випускник Дніпропетровського транспортного інституту (нині Український державний університет науки і технологій) І. І. Гвай був одним із провідних розробників легендарного реактивного міномета БМ-13 «Катюша» [2]. Нагороджений орденами та медалями, він був лауреатом Державних премій і в той час працював у Реактивному науково-дослідному інституті поряд з Сергієм Корольовим, Валентином Глушком, Федором Цандером, Юрієм Побєдоносцевим та іншими майбутніми основоположниками ракетної техніки Радянського Союзу.

Згадана постанова зобов’язувала автомобільний завод (отримав назву завод № 586) вже в 1951 р. випустити 70 балістичних ракет далекої дії (БРДД) Р-1 (8А11). Дальність ракети становила ~270 км. Тут відразу потрібно зазначити, що ця ракета є конструктивно повною копією німецької ракети Фау-2 (V-2). Далі більше – у 1953-му план Й. Сталіна та його посіпак уже становив 700 ракет з подальшою перспективою виробництва 2500 ракет на рік [1]. Фантазії кремлівської верхівки на цьому не зупинилися. У 1952 р. заводу було передано з НДІ-88 технічну документацію на ще одну ракету – БРДД Р-2 (дальність 600 км) для серійного виробництва, а у 1953 – документацію на БРДД Р-5 (дальність 1200 км) з тією ж метою. Документація на останню ракету була особливо сирою [3].

На фоні щойно започаткованого кардинального перепрофілювання заводу, відсутності фахових спеціалістів, спеціалізованого оснащення в

повному обсязі, випробувальної бази плани були зовсім нереальні. Так, за 1951–1952 рр. план створення балістичних ракет далекої дії (БРДД) було виконано лише на 69%, а у 1953–1954 рр. лише на 60% [4]. Перша серійна ракета Р-1 була випущена із заводу лише у липні 1952 р. [3]. Для керівництва заводу зрив термінів закінчився трагічно.

Більшість істориків ракетної техніки списують зрив планів на невідповідну для серійного виготовлення конструкцію Фау-2, копією якої була Р-1 [1; 3; 5]. Ми далекі від думки ідеалізувати зручність конструкції Фау-2 (Р-1) для серійного виробництва, особливо ракетного двигуна, камера згоряння якого була грушоподібної форми з форкамерами. Однак за роки Другої світової війни в Німеччині було вироблено до 6000 саме таких ракет. Серійне виробництво здійснювалося з початку 1944 р., тобто не в мирний час, а за умов щоденних масштабних бомбардувань. При цьому максимальна продуктивність досягала 900 ракет на місяць. На наш погляд, причини зриву грандіозних радянських планів треба шукати в іншій площині.

Ракета Фау-2 була свого часу новітнім виключно високотехнологічним продуктом. У її системах сконцентрувалася передова наукова та інженерна думка, втілена в конструкції, матеріали, пускове обладнання, радіоелектроніку та багато іншого. На початку 1930-х рр. Німеччина була світовим центром наукової думки. Німецька мова була новою латиною для будь-якого серйозного вченого. Німеччина була не просто однією з наукових держав, була сонцем, довкола якого оберталася вся планетарна система світової науки [6]. Третину всіх Нобелівських премій з фізики та хімії, вручених до 1933 р. (прихід Гітлера до влади), отримали німецькі вчені. Більшість з них працювали в університетах, де

готували справжніх фахівців. Останні потім працювали над Фау-2. Незважаючи на своє темне коріння, V-2 стала іконою війни та технологічних досягнень XX ст.

Для середини 1940-х ракетний комплекс з Фау-2 був технологічним ривком: двигун на спирті та рідкому кисні (низькокиплячий компонент) тягою 25 т, турбонасосна система постачання компонентів пального, гіроскопічна стабілізація, аеродинамічні керма та графітові лопатки в струмені продуктів згоряння. Системи наддування паливних баків навіть за мірками сьогодення дуже цікаві. Бак окиснювача наддували підігрітими парами кисню. Бак пального – першу половину польоту потоком повітря, що набігає, далі – азотом з балонів. Максимальна швидкість БРДД перевищувала 5000 км/год, траєкторія – суборбітальна дуга, а бойова частина – близько тонни вибухової речовини [7].

Важливо розуміти, що Фау-2 – це не тільки «ракета Фау-2» як предмет озброєнь, але й платформа для випробування матеріалів, методів управління, інженерної логістики та процедур безпеки. Під час випробувань команда навчилася працювати з кріогенними компонентами, калібрувати датчики прискорення, синхронізувати блокові системи та швидко усувати відмови. Саме тут народжувалися алгоритми тотальних попередніх перевірок, які імітували космічний простір. А потім ці алгоритми перекочували в космічну галузь і стали стандартами [8].

Керівництво країни не до кінця уявляло, яку складну справу треба було подужати. Здавалося, Фау-2 прийнята рейхом на озброєння. Технічна документація перевірена бойовими пусками. За нею в Підмосков'ї в НДІ-88 (головна організація з ракетної техніки) з трофейних деталей за допомогою привезених німецьких фахівців зібрали за три роки два десятки

ракет, які запускали з полігону Капустін Яр (зараз звідси московити запускають експериментальні ракети, у т. ч. й «Орешнік»). Запуски також проводилися в основному під керівництвом німецьких ракетників. Частково були й успішні випробовування. Чому б і не випускати ці ракети тисячами?

Одна з проблем зриву «наполеонівських» планів випуску Р-1 була в тому, що навіть залучені авіафахівці, не кажучи вже про автомобільних, які залишилися на заводі, не до кінця уявляли умови, в яких працюють деталі ракет у польоті. Умови нові, незвичайні. Наведемо зовсім маленький приклад. У нас в університеті студент писав бакалаврську роботу за двома спеціальностями, які вивчав: «Підйомно-транспортні машини і механізми» і «Ракетні двигуни». Треба було знайти спільне завдання. Його знайшли – спроєктувати полегшений шестерний редуктор для переднасосів другого ступеня ракети-носія. Аналог – РН «Космос». Досвідчені фахівці-викладачі з «цивільної» кафедри дивувалися принципово новим «ракетним» вимогам до звичного механізму – велика герметичність корпусу редуктора (у вакуумі мастило дуже швидко випливає в мінімальні зазори), особливі матеріали та ущільнення (за рахунок десорбції змінюються властивості не тільки ущільнень). Це приклад тисячної частки відмінностей ракетної техніки від «цивільної» наземної.

У міру вивчення німецької ракетної техніки в Німеччині, а потім у Подліпках Московської області (НДІ-88, директор Л. Р. Гонор), дедалі очевиднішою ставала нагальна потреба у фахівцях саме з ракетної техніки. Для вищенаведених грандіозних планів випуску ракет були потрібні висококваліфіковані фахівці різної спеціалізації, передусім з ракетних двигунів, систем керування, матеріалознавці, технологи, випробувачі та ін.

Тому не дивно, що вже у 1951 р. Постановою уряду було передбачено організацію на базі фізико-математичного факультету Дніпропетровського державного університету (ДДУ) відділення керованих ракет з щорічним набором на перший курс 50 осіб. Для збереження суворого режиму секретності відділення назвали абстрактно – фізико-технічним.

Також наказувалося другі, треті та четверті курси ДДУ укомплектувати студентами відповідних курсів фізичних, фізико-математичних, фізико-технічних факультетів низки університетів країни шляхом переведення. Важливо, що стипендії саме для студентів цих груп було підвищено в рази [1].

З 1951 року фізико-технічний факультет працював ще як відділення, а з вересня 1952-го як повноцінний факультет. Першим деканом був М. І. Варич. Того ж року було засновано і кафедру двигунобудування. Як відомо, цей напрямок у ракетобудуванні є найбільш складним, вартісним і наукоємним. Кафедру очолив М. С. Шнякін – Головний конструктор КБ нового ракетного заводу (до цього – заступник С. П. Корольова).

Для перших наборів студентів фізтеху практичні та лабораторні заняття проводили в лабораторіях та цехах заводу. Лекції їм читали найбільш досвідчені фахівці заводу та його КБ: В. С. Будник, М. Ф. Герасюта, В. М. Ковтуненко, М. С. Шнякін, М. Д. Назаров, Л. М. Назарова, Л. А. Кущов. Такі викладачі та дух реального виробництва могли багато чому навчити молодь. Це одна з причин, чому з перших випусків фізтеху зросло багато відомих фахівців. Друга причина – у перших наборах фізтеху було до 30% студентів, які закінчили школу

із золотими медалями. З таких можна було виростити підкорювачів Всесвіту.

10 квітня 1954 р. відбулася ще одна знакова подія для Дніпра та України. Було офіційно засновано нове ракетне КБ під назвою ОКБ-586 (надалі КБ «Південне»). Його очолив колишній керівник головного ракетного НДІ-88 М. К. Янгель. Ця людина мала чудову освіту, стажувалася у США, працювала під час війни поруч з корифеями літакобудування і німецькими ракетниками після війни [9]. Першим завданням нового КБ було спроєктувати і здати на озброєння першу БРДД 8К63 (Р-12) на висококиплячих компонентах пального дальністю ~2000 км.

У 1954 р. відбувся перший випуск «прискореників» фізтеху. Серед них – відомі фахівці-ракетники Г. Команов, О. Кваша, Г. Макаров, Л. Константинов, М. Бєляєв, Ю. Созін [1]. З урахуванням потреб КБ, що відкрилося, фахівці були дуже затребуваними. Частину випускників забрало КБ, частину – завод, лише кілька залишилися в університеті. Перед ними постали два першочергові завдання: займатися наукою на користь дніпропетровських КБ і заводу, друге – максимально оснастити фізтех лабораторними роботами.

Як відомо, найскладнішими, наукомісткими і дорогими частинами рідкої ракети є її двигун і система подачі компонентів пального в нього, основною частиною якої є системи наддуву (СН) паливних баків [10]. Університет у центрі міста – не найкраща територія для випробування двигунів, його частин на токсичних компонентах палива. Тим більше, на перші ракети повністю готові двигуни надходили з РФ. Там знаходилися і всі науково-дослідні інститути, які вже долучилися до ракетної

проблематики: НДІТП – з ракетних двигунів, ГІПХ – з ракетних палив, НДІХімМаш – з наземних випробувань двигунів і ракет (ступенів).

У Дніпрі та Україні на той час не було жодного спеціалізованого наукового інституту з ракетної техніки. Тому не дивно, що перші випускники фізтеху, які залишилися в ДДУ, у т. ч. і М. М. Бєляєв, двигунобудівник, про якого далі йтиметься, зосередили свою увагу саме на СН. Уже на першій БРДД КБЮ Р-12 вдалося винайти, спроєктувати та впровадити СН бака окиснювача продуктами розкладання перекису водню [11]. Це було зроблено вперше в світі. Перша ракета щойно створеної установи, і вже система найкраща у світі! Треба підкреслити, що перекис тут не додатковий компонент, він все одно був на борту для роботи турбіни двигуна. Завдяки цьому новітньому рішенню вдалося прибрати неефективну важку парову азотну СН, запозичену з ракети Р-5 [12]. Для такої системи доводилося ракету заправляти рідким азотом (повноцінний додатковий низькокиплячий компонент), мати на старті станцію азотодобувну, додаткове відділення особового складу. Тільки перші шість ракет пішли для відстрілу на полігон з азотною СН. У КБЮ найбільший внесок у впровадження нової СН зробили Е. М. Кашанов, В. І. Кукушкін та В. А. Антонов [11]. Науковий супровід розробки забезпечував М. М. Бєляєв з колегами.

Під час розробки нової СН довелося розв’язувати низку важливих завдань. Головне питання – класична технічна термодинаміка не описувала процеси, що відбуваються в умовах польоту в баку. При наддуванні бака збільшується об’єм системи, маса робочого тіла, постійно змінюється його температура, відбуваються масообмінні процеси, змінюється показник адіабати робочого тіла. Потрібно було розробляти основи термодинаміки

тіл змінної маси – таку назву отримав згодом цей розділ, що невдовзі став дніпровською класикою [13].

Також проблемним було питання можливого перегріву верхнього днища бака окиснювача в польоті. При виконанні роботи витіснення окиснювача з бака та теплообміну з граничними поверхнями температура робочого тіла падає. Частина пари води зі складу робочого тіла наддування конденсується, у т. ч. і на верхньому днищі. Його температура зростає до критичних значень. Завдання було виконане виключно ефективно й елегантно – установкою тонкого сталевого фальшднища еквідистантно верхньому силовому алюмінієвому днищу [11].

Далі за часом було вирішено проблему наддування бака з пальним другого ступеня РН «Космос» продуктами розкладання гідразинового пального [14]. Було визначено залежності ефективної працездатності продуктів розкладання від температури, їх склад у реальних умовах, теплофізичні властивості та багато іншого [15].

На другому поколінні ракет КБЮ, уже міжконтинентальних, для підвищення їх ефективності доцільно було застосовувати газогенераторні СН на основних компонентах палива. Далі вдалося послідовно, не переходячи грань розумного, забезпечити умови безпечного підвищення температури генераторних газів від 650 К до 1300 К (бак пального другого ступеня МБР 18М більш відомий як «Сатана»). Також були відпрацьовані та впроваджені унікальні хімічні системи передпускового наддуву впорскуванням одного самозаймистого компонента у вільний об’єм бака іншого. Особливо треба зазначити, що зауважень або відмов при льотному відпрацюванні та навчальних пусках МБР із розроблених СН не було. Це свідчить про добротний науковий фундамент.

З 1975 р. проводилися роботи з підвищення ефективності СН для РН «Зеніт» та «Енергія» з новими для КБ «Південне» компонентами палива – рідким киснем та вуглеводневим пальним РГ-1. Для цих РН було всебічно досліджено та впроваджено щонайменше два принципово нові рішення. Перше – це наддув баків пального безпосередньо гелієм із температурою 90–70 К [16; 17]. Функцію теплообмінника для гелію в цьому випадку виконують баки масою кілька тонн і пальне масою кілька десятків тонн. Такий спосіб є надзвичайно ефективним для двигуна, що працює за схемою з допалюванням окиснювального газу. Надалі його було вдосконалено [18]. Друге революційне рішення – вирівнювання температури рідкого кисню в баку окисника другого ступеня РН «Зеніт» із подальшим захистом верхнього шару кисню від гарячого газу наддуву [19].

Особливо треба зупинитися на дуже важливому агрегаті СН – влаштування введення газу в бак. Він є практично єдиним інструментом впливу на внутрішньобакові процеси в польоті розробником СН [20]. Дніпровською школою на чолі з М. М. Бєляєвим вперше у світі здійснено типологію класифікації таких пристроїв введення [12]. Доведено провідну роль умов введення неізотермічного робочого тіла наддування (РТН) на параметри СН циліндричних баків РУ. Знайдені, теоретично відображені, досліджені нові ефективні способи введення неізотермічного РТН у вільні об’єми баків – багаторежимні пристрої, у вигляді стійких структур типу ТВК [21], які мають максимальну далекість при мінімальній швидкості введення [22]; з диспергуванням хімічно активного реагенту та подачею його в бак у вигляді ТВК [23]; багаторівневими турбулентними струменями [20]; з плаваючим відбійником [24], з настиланням на плоску

вертикальну пластину, з попереднім розподілом витрат РТН по перетину пристрою. Отримано важливий висновок про відсутність впливу швидкості введення РТН уздовж поздовжньої осі бака великого подовження (l/d ≈5) затопленим струменем на кінцеві параметри СН при постійній температурі та витратах гелію на наддування [25; 26], створені рекомендації щодо вибору початкової швидкості введення високотемпературного РТН [27; 28].

Уперше в світі було розроблено методику фізичного моделювання параметрів СН на моделях з імітацією основних факторів польотних умов [29]. Саме по ній були відпрацьовані та отримали допуск до льотних випробувань СН баків окиснювачів РН «Зеніт» та «Енергія».

Безумовно, потрібно сказати найтепліші слова основоположникам провідної в світі школи СН під керівництвом М. М. Бєляєва. У ДДУ – це Г. С. Шандоров, І. І. Морозов, А. С. Глєбов, Н. П. Бєлік, Ю. В. Токар, А. П. Бабич та ін.; у КБ «Південне» – В. І. Сідов, Ф. І. Кондратенко, М. Л. Волошин, В. О. Антонов, В. М. Кудерський, В. А. Мосейко, М. П. Ситник. Також потрібно відзначити і продовжувачів цієї школи – це Ю. О. Мітіков, О. І. Логвиненко, М. Ф. Свириденко, О. В. Січовий, Ю. В. Січовий, О. Є. Золотько.

Сьогодні в Україні центр ваги робіт з удосконалення СН змістився у бік Українського державного університету науки та технологій.

Варто підкреслити основні наукові досягнення М. М. Бєляєва. Він опублікував понад 30 монографій, що стосуються ракетно-космічної техніки, тепломасообміну, гідромеханіки, отримав 60 авторських свідоцтв з розробки та проєктування РКТ, є автором понад 30 підручників та

навчальних посібників. Під його керівництвом захищено 75 кандидатських і 12 докторських дисертацій.

Список бібліографічних посилань

1. «Секретний» підрозділ галузі / В. С. Савчук та ін. Дніпропетровськ : Видавництво Дніпропетровського університету, 2001. 376 с.

2. Кукушкин А. Наш земляк – изобретатель легендарной «Катюши» // Днепр вечерний. 2026. 24 марта. URL: https://dv-gazeta.info/vechyorka/obschestvo1/nash-zemlyak-izobretatel-legendarnoy-katyushi.html (дата звернення: 06.05.2024).

3. Платонов В. Макаров : художественно-документальная биография. Днепропетровск : Проспект, 2006. 304 с.

4. Титов А. А. Масштабы, динамика и особенности производства ракет для проведения испытаний и оснащения ракетных войск и артиллерии (1946–1961 гг.) // История науки и техники. 2020. № 60. С. 62–72.

5. Санін Ф. П., Джур Є. О., Кучма Л. Д., Хуторний В. В. Розвиток ракетно-космічної техніки в Україні. Дніпропетровськ : АРТ-ПРЕС, 2002. 402 с.

6. К началу 1930-х годов Германия была мировым центром научной мысли // Facebook. Dmitry Chernyshev. Дата публікації: 05.07.2025. URL: https://www.facebook.com/dmitry.chernyshev.5/posts/24356036693992951 (дата звернення: 06.05.2026).

7. Ракета Фау-2: історія, конструкція, моральні дилеми та спадщина для космосу // Hudozhka.vn.ua. Дата публікації: 21.09.2025. URL: https://hudozhka.vn.ua/raketa-fau-2/ (дата звернення: 06.05.2026).

8. Шевченко О. Перша балістична. Як німецька ракета V-2 змінила наш світ // Фокус. Дата публікації: 24.11.2022. URL: https://focus.ua/uk/voennye-novosti/538301-pervaya-ballisticheskaya-kak-nemecka-raketa-v-2-izmenila-nash-mir (дата звернення: 06.05.2024).

9. Мітіков Ю. О., Білогуров С. О. Науково-технічні аспекти створення першого у світі українського космічного комплексу «Веселка» // Космічна наука і технологія. 2023. Т. 29, № 1. С. 74–86. DOI: https://doi.org/10.15407/knit2023.01.074 (дата звернення: 06.05.2024).

10. Ракета космического назначения сверхмалого класса / А. В. Дегтярев и др. // Космическая техника. Ракетное вооружение : сборник научно-технических статей. 2014. № 1. С. 14–20.

11. Пути повышения надежности и безопасности эксплуатации ракетных комплексов / Ю. А. Митиков, В. А. Антонов, М. Л. Волошин, А. И. Логвиненко // Авиационно-космическая техника и технология. 2012. № 3. С. 30–36.

12. Митиков Ю. А., Любарский Е. Ю. Газовводы топливных баков ЖРД. Подходы к проектированию. Современная классификация // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування / Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. 2016. № 1. С. 41–46.

13. Беляев Н. М. Термодинамика. Киев : Вища школа, 1987. 344 с.

14. Призваны временем. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро «Южное» / под общей редакцией С. Н. Конюхова. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2004. 232 с.

15. Беляев Н. М. Системы наддува топливных баков ракет. Москва : Машиностроение, 1976. 336 с.

16. Митиков Ю. А. Газобаллонные системы наддува и ракеты-носители нового поколения // Космическая техника. Ракетное вооружение : научно-технический сборник. 2012. № 1. С. 179–185.

17. Способ наддува топливного бака ракеты : а. с. № 112091 / КБ «Южное» ; Шевченко Б. А., Митиков Ю. А. 1978.

18. Спосіб наддува паливного бака ракети : Пат. 51806 Україна : МПК F02K 11/00, B64D37/24 / КБ «Південне» ; Шевченко Б. О., Мітіков Ю. О., Логвіненко А. І. Опубліковано 16.12.2002.

19. Спосіб наддування паливного бака рідинної ракети та пристрій для його здійснення : Патент 57097 Україна : МПК F02K 11/00, B64D37/24 / Жовтоног В. М. Опубліковано 16.06.2003.

20. Мітіков Ю. О., Поляков М. В. Рекомендації по проєктуванню газовводів баків великого подовження ракетоносіїв // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2012. № 2. С. 118–121.

21. Митиков Ю. А. Использование вихревых колец для наддува топливных баков двигательных установок ракет-носителей // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2012. № 5/7 (59). С. 30–35.

22. Способ и устройство для наддува бака : а. с. № 291984 / Куковинец А. В., Свириденко Н. Ф., Митиков Ю. А. и др. Опубликовано 05.08.1989.

23. Спосіб і пристрій наддування паливного бака ракети-носія : Патент 110134 Україна : МПК F02K 9/42, B64D37/24 / Свириденко М. Ф., Ніколаєв О. Д., Мітіков Ю. О. та ін. Опубліковано 26.07.2015.

24. Устройство для наддува бака горячим газом : а. с. № 190290 / Митиков Ю. А., Мосейко В. А., Осташев Л. А. Опубликовано 05.09.1983.

25. Митиков Ю. А., Куда С. А. Определение коэффициентов стеснения для неизотермических турбулентных струй // Проектирование сложных технических систем. Киев, 1989. С. 153–155.

26. Митиков Ю. А., Куда С. А. Влияние скорости ввода горячего гелия на параметры системы наддува топливного бака большого удлинения // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування / Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. 2015. № 3. С. 28–31.

27. Митиков Ю. А. Подход к физическому моделированию параметров систем высокотемпературного наддува топливных баков двигательных установок при старте ракет-носителей // Авиационно-космическая техника и технология. 2015. № 5. С. 5–10.

28. Спосіб наземного відпрацювання початкової ділянки роботи гарячої системи наддування : Патент 113681 Україна : МПК G01G 23/00, B64D37/00, F02K 9/00 / Мітіков Ю. О. Опубл. 27.02.2017.

29. Мосейко В. А., Митиков Ю. А. Моделирование внутрибаковых процессов двигательных установок ракет-носителей // Вісник двигунобудування. 2015. № 1. С. 45–49.

30. Assessment of the efficiency of hot helium tank pressurization systems for oxygen-propelled rocket engines / K. M. Sukhyi et al. // Space Science and Technology. 2025. Volume 31, No. 4. P. 3–11. DOI: https://doi.org/10.15407/knit2025.04.003 (дата звернення: 06.05.2026).

УДК 623.7.052.3:531.383

Каленчук Ігор Олегович, курсант;
Василенко Роман Вікторович, старший викладач,
Харківський національний університет Повітряних Сил
ім. Івана Кожедуба, м. Харків

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ МОДУЛІВ СКЛАДУ ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРТИКАЛІ І КУРСУ ИК-ВК-80-4

Анотація. *Точність визначення просторового положення повітряного судна (ПС) є визначальним фактором у розв'язанні навігаційних задач. Досвід бойового застосування свідчить про наявність критичних недоліків у роботі навігаційного обладнання, зокрема відмов інерціальної курсовертикалі ИКВ-80 у складі комплексу ИК-ВК-80, що безпосередньо впливає на ефективність виконання бойових завдань. Це зумовлює необхідність проведення комплексного дослідження функціонування інформаційного комплексу вертикалі та курсу ИК-ВК-80, аналізу сучасних засобів вимірювання кутового положення, а також розробки практичних рекомендацій щодо його модернізації шляхом інтеграції перспективних інерціальних вимірювальних модулів. and course, platform-free inertial navigation system.*

Ключові слова: *повітряне судно, інерціальна курсовертикаль, інформаційний комплекс вертикалі і курсу.*

Abstract. *The accuracy of determining the spatial position of an aircraft is a decisive factor in solving navigation tasks. Combat experience shows that there are critical shortcomings in the operation of navigation equipment, in particular failures of the IKV-80 inertial course vertical as part of the IK-VK-80 complex, which directly affects the effectiveness of combat missions. This necessitates a comprehensive study of the functioning of the IK-VK-80 vertical and course information complex, an analysis of modern means of measuring angular position, and the development of practical recommendations for its modernization through the integration of promising inertial measurement modules.*

Keywords: *aircraft, inertial course vertical, information complex of vertical*

У сучасних бойових діях авіація відіграє ключову роль. При виконанні завдань на гранично малих висотах в режимі радіомовчання (з метою мінімізації виявлення засобами ППО противника) особливого значення набуває здатність повітряного судна до автономної орієнтації та навігації. У таких умовах доцільним є використання систем зчислення шляху на основі інерціальної навігаційної системи (ІНС). ІНС характеризуються повною автономністю, скритністю роботи, безперервністю функціонування, незалежністю від метеоумов, пори доби та рівня зовнішніх радіоперешкод. Основним напрямком їх удосконалення залишається підвищення точності визначення навігаційних параметрів.

Теоретичними основами будови алгоритмів ІНС є поняття репера та аналіз його руху в обраних системах координат. Від вибору цих систем залежать повнота та точність отримуваного переліку навігаційних параметрів, які визначають місцеположення ПС, висоту та напрямок його руху [1].

На літаках МіГ-29 завдання літаководіння виконуються за допомогою інформаційного комплексу вертикалі і курсу ИК-ВК-80-4.

Інформаційний комплекс вертикалі і курсу ИК-ВК-80-4 призначений для визначення і видачі в інші системи сигналів, пропорційні кутам крену γ, тангажу υ та курсу ψ, складових абсолютної лінійної швидкості літака за трьома осями гіростабілізованої платформи $V_{a\xi}$, $V_{a\eta}$, $V_{a\zeta}$ та вертикального прискорення a_ζ. Цей комплекс належить до класу інерціальних навігаційних пристроїв і є одним із основних джерел даних для систем пілотажно-навігаційного комплексу повітряного судна [2].

Функціонування комплексу забезпечує прихованість і захищеність від завад, автономну навігацію, надійність визначення пілотажно-навігаційних параметрів, можливість застосування за будь-яких погодних умов та у будь-який час доби, що особливо важливо при бойових діях.

Основу комплексу складають дві інерціальні курсовертикалі: основна ИКВ-80-6 і резервна ИКВ-80-4. Курсовертикаль видає споживачам таку інформацію [2]:

– гіроскопічний курс $\psi_г$;

– кути тангажу υ та крену γ;

– складові a_ξ, a_η абсолютного прискорення центру мас літака уздовж ортогональних осей платформи;

– складову a_ζ абсолютного прискорення уздовж вертикальної осі платформи.

При подачі живлення система автоматично виконує процедури виставки, після чого переходить у робочий режим. Під час експлуатації ИК-ВК-80-4 забезпечує безперервну видачу сигналів про кутове положення та прискорення літака, що є основою для формування навігаційних і пілотажних параметрів.

В умовах інтенсивного маневрування, застосування засобів протиповітряної оборони противника та виконання польотів на гранично малих висотах до авіаційного обладнання висуваються жорсткі вимоги щодо точності, надійності, швидкості підготовки до роботи та стійкості до зовнішніх збурень. Однак досвід бойових дій засвідчує наявність суттєвих проблем у системі навігації, зокрема основний недолік – це неминучий дрейф, який виникає в реальних механічних гіроскопах через недосконаліть їх виготовлення та зовнішні впливи, що безпосередньо впливає на бойову ефективність ПС.

Тому виникає необхідність у глибокому дослідженні функціонування інформаційних комплексів вертикалі та курсу, аналізі сучасних вимірювачів кутових параметрів, а також у розробці рекомендацій щодо модернізації та інтеграції таких систем до складу вітчизняних багатоцільових літаків.

У бойових умовах параметри орієнтації літака зазнають інтенсивних змін, що істотно впливає на точність навігації та прицілювання. Пікірування супроводжується швидким від’ємним тангажем, що призводить до значних перевантажень і ускладнює стабільність орієнтації. Ухилення від ракети передбачає комбінацію змін крену та тангажу з великими кутовими швидкостями, що вимагає високої точності вимірювань. Бойовий розворот характеризується значним креном до 60–70° і швидкою зміною курсу, що потребує максимальної точності систем орієнтації. Дослідження показують, що саме в цих режимах найбільш критичними є похибки вимірювання крену та курсу, які можуть досягати декількох градусів і суттєво знижувати ефективність прицілювання та навігації [3].

У процесі активного маневрування інерціальні вимірювачі працюють у складних умовах, коли суттєво зростають впливи динамічних перевантажень, вібрацій та температурних змін. Це призводить до появи додаткових складових похибок, які в спокійному польоті є незначними.

Також одним із найважливіших параметрів, який безпосередньо впливає на льотні характеристики, економічність, безпеку та ефективність експлуатації повітряного судна, є вага обладнання. Кожен кілограм маси, встановлений на борту, має свою ціну у вигляді збільшеної витрати пального, зменшення корисного навантаження або обмеження дальності польоту.

Найперспективнішими наразі є безплатформні інерціальні навігаційні системи, які у порівнянні з платформними мають цілу низку переваг:

- менші розміри, маса та енергоємність;
- значне спрощення механічної частини системи та її компоновки;
- відсутність обмежень з кутів розвороту;
- скорочення часу початкового виставлення;
- визначення навігаційних параметрів за допомогою алгоритмів;
- спрощення розв’язання задачі резервування і контролю працездатності системи та її елементів.

У сучасному літакобудуванні кожен грам маси має бути виправданим, тому інженери прагнуть об’єднувати функції кількох систем в одну, застосовувати модульні конструкції, мікроелектроніку та цифрові обчислювальні блоки замість масивних електромеханічних приладів. Наприклад, інформаційні комплекси типу ИК-ВК-80-4 у новіших

модифікаціях інерціальну курсовертикаль ИКВ-80, масою 30 кг, замінюють цифровими інерціальними вимірювальними модулями (блоками), які важать у десятки разів менше, але забезпечують вищу точність вимірювань [4].

З точки зору перспективності використання в інерціальних навігаційних системах важливе місце відводиться лазерним, мікроелектромеханічним та волоконно-оптичним гіроскопам.

Порівняльна характеристика сучасних вимірювачів кутової інформації показала, що кільцеві лазерні гіроскопи забезпечують найвищу точність та стабільність, проте залишаються дорогими та технологічно складними у виробництві. Волоконно-оптичні гіроскопи відзначаються меншими габаритами й надійністю завдяки відсутності рухомих частин, що робить їх особливо придатними для маневрових ПС. Хвильові твердотільні гіроскопи демонструють перспективність завдяки компактності та відносно низькій вартості, однак їх точність поки що поступається іншим типам.

Аналіз акселерометрів різних типів показав, що вони забезпечують високу точність і стабільність, що робить їх найбільш перспективними для застосування в авіаційних інерціальних системах. Розвиток вимірювальних приладів у галузі авіації демонструє чітку тенденцію до переходу від класичних механічних та термоелектричних сенсорів до оптичних та твердотільних рішень, які поєднують точність, компактність і високу надійність.

При використанні інерціальних вимірювальних блоків компаній Honeywell або Northrop Grumman (табл.) ми маємо змогу досягнути кращих вагових характеристик та скоротити час підготовки комплексу до застосування [5; 6].

Таблиця

Порівняння характеристик ИК-ВК-80-4 та закордонних інерціально-навігаційних систем

Назва	**ИК-ВК-80-4**	**LN-260 (Northrop Grumman)**	**Honeywell H-764 (EGI)**
Тип системи	Аналогова курсовертикаль (механічні гіроскопи	Безплатформна ІНС на волоконно-оптичних гіроскопах (FOG) з інтегрованим GPS	Безплатформна ІНС на кільцевих лазерних гіроскопах (RLG) з інтегрованим GPS
Точність координат (автономно)	Не обчислює координати	0.8 морської милі/год	0.8 морської милі/год
Точність координат (з GPS)	Не підтримується	Менше 4 метрів	Менше 10 метрів
Точність визначення курсу	± 1° ÷ 2°	0.05° (з GPS) / 0.1° (автономно)	0.05° (з GPS) / 0.1° (автономно)
Точність крену та тангажу	± 15 кутових хвилин (0.25°)	0.01° (з GPS)/ 0.05° (автономно)	0.01° (з GPS)/ 0.05° (автономно)
Час виставки	9 хв	4 хв	4 хв
Маса	17 кг	11,8 кг	8,3 кг
Габарити	19,3×26,3×35,5см	16,9×14,2×26,1см	17,8×17,8×25,0см
Вихідні інтерфейси	Аналогові (СКТ, сельсини, потенціометри)	Цифрові (MIL-STD-1553B, RS-422, ARINC 429)	Цифрові (MIL-STD-1553B, ARINC 429)

У результаті проведення такої модернізації буде отримано інформаційний комплекс із підвищеним рівнем надійності, скороченим часом підготовки до роботи та спрощеним технічним обслуговуванням інженерно-технічним персоналом. Це зумовлено тим, що модернізована система матиме меншу кількість відмов у процесі експлуатації, а також забезпечуватиме вищу точність вимірювання параметрів із мінімальними похибками.

Запропонована компоновка комплексу забезпечує спрощену інтеграцію з апаратурою супутникової навігації, що дозволяє підвищити загальну надійність та розширити функціональні можливості обладнання.

Список бібліографічних посилань

1. Зарубін А. М. Інерціальні вимірювачі в авіоніці : навчальний посібник. Харків : ХУПС, 2014. 120 с.

2. Зарубін А. М., Василенко Р. В., Лі Фей. Інформаційний комплекс вертикалі і курсу ИК-ВК-80-4 : навчальний посібник. Харків : ХНУПС, 2020. 48 с.

3. Зарубін А. М. Системи орієнтації та навігації. Ч. 2. Навігаційні системи літальних апаратів : курс лекцій. Харків : ХУПС, 2011. 124 с.

4. Зарубін А. М., Петренко М. М. Курсові системи та курсовертикалі : навчальний посібник. Харків : ХУПС, 2012. 128 с.

5. Positioning, Navigation and Timing / Northrop Grumman. URL: https://www.northropgrumman.com/what-we-do/mission-solutions/assured-navigation/ln-260-advanced-embedded-ins-gps-egi (дата звернення: 14.03.2026).

6. Embedded GPS/INS // Honeywell Aerospace. URL: https://aerospace.honeywell.com/us/en/products-and-services/products/navigation-and-sensors/navigation-systems/embedded-gps-ins (дата звернення: 14.03.2026).

УДК 623.74(477):006.35(100)НАТО+ІСАО

Осовицький Михайло Петрович, викладач;
Думич Юрій Володимирович, курсант,
Харківський національний університет Повітряних Сил
ім. Івана Кожедуба, м. Харків

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ НОМЕНКЛАТУРИ ШВИДКОСТЕЙ У ПРАКТИКУ АВІАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СИЛ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ЄВРОАТЛАНТИЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

Анотація. *Повідомлення присвячене дослідженню особливостей номенклатури швидкостей, що застосовується в авіації країн-членів НАТО, у порівнянні з практикою Повітряних Сил Збройних Сил України в контексті євроатлантичної інтеграції. Розглянуто систему експлуатаційних та операційних (V) швидкостей відповідно до стандартів ІСАО і НАТО. Проведено порівняльний аналіз індикаторів швидкостей КУС-730/1100 та LUN-1107. Узагальнено досвід країн, що вже здійснили інтеграцію авіаційних стандартів у рамках вступу до Альянсу, та сформульовано практичні рекомендації щодо імплементації міжнародних стандартів у практику авіації Повітряних Сил Збройних Сил України.*

Ключові слова: *номенклатура швидкостей, НАТО, Повітряні Сили України, євроатлантична інтеграція, оперативна сумісність, V-швидкості.*

Abstract. *The article examines the features of the speed nomenclature used in NATO member states' aviation in comparison with the practice of the Ukrainian Air Force (UAF) in the context of Euro-Atlantic integration. The system of operational and V-speeds in accordance with ICAO and NATO standards is analyzed. A comparative analysis of the KUS-730/1100 and LUN-1107 airspeed indicators is conducted. The experience of countries that have already integrated aviation standards within the NATO accession framework is summarized, and practical recommendations for implementing international standards into UAF aviation practice are formulated.*

Keywords: *speed nomenclature, NATO, Ukrainian Air Force, Euro-Atlantic integration, interoperability, V-speeds.*

Євроатлантична інтеграція України є стратегічним пріоритетом держави, що передбачає поступову гармонізацію стандартів у всіх галузях, включно з військовою авіацією. Одним із ключових елементів забезпечення оперативної сумісності авіації Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗСУ) з авіацією країн-членів НАТО є номенклатура швидкостей – стандартизована система термінів і одиниць вимірювання, що лежить в основі льотної експлуатації, навігації та управління повітряним рухом.

Актуальність дослідження зумовлена кількома взаємопов’язаними чинниками. По-перше, активний курс України на членство в НАТО вимагає вивчення та поступової імплементації стандартів Альянсу у практику ПС ЗСУ. По-друге, в авіаційному парку ПС ЗСУ з’являються зразки авіаційної техніки виробництва країн-членів Альянсу, що потребує від українських авіаторів чіткого розуміння відповідних стандартів і систем вимірювання. По-третє, досвід держав, що вже пройшли шлях інтеграції до НАТО – Польщі, Угорщини, Чехії, а також Естонії, Латвії та Литви, переконливо свідчить: стандартизація авіаційної термінології є не лише технічним, а й важливим науковим та організаційним завданням.

Аналіз відкритих джерел свідчить, що проблематиці порівняльного аналізу номенклатури швидкостей НАТО та пострадянських стандартів у контексті євроатлантичної інтеграції майже не приділено уваги у вітчизняній науково-технічній літературі. Це зумовлює наукову новизну та практичну цінність цього дослідження, мета якого – дослідити сутність

номенклатури швидкостей, що застосовується в авіації країн-членів НАТО, виявити ключові відмінності з практикою ПС ЗСУ та окреслити практичні шляхи імплементації міжнародних стандартів у практику військової авіації України.

Номенклатура швидкостей в авіації – це стандартизована система термінів і одиниць вимірювання для позначення різновидностей швидкостей літального апарата в польоті. Основні міжнародні стандарти в цій сфері встановлені Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO) у додатках до Чиказької конвенції. Країни-члени НАТО беззастережно дотримуються стандартів ICAO і доповнюють їх специфічними операційними швидкостями з огляду на особливості військових місій. Це забезпечує можливість спільних операцій, навчань та використання спільного повітряного простору.

Українська військова авіація історично базувалася на радянських стандартах, які суттєво відрізняються від натівських, передусім у системі одиниць вимірювання (км/год замість вузлів) та в термінології (наприклад, «шляхова швидкість» замість Ground Speed, «приладова швидкість» замість IAS). Зазначені розбіжності є одним із практичних бар'єрів для досягнення повної оперативної сумісності, що й визначає актуальність їх систематичного вивчення та усунення.

Для системного аналізу номенклатуру швидкостей, яку використовують країни-члени НАТО, доцільно поділити на дві категорії: експлуатаційні та операційні. До експлуатаційних належать постійні показники, що використовуються для навігації та моніторингу польоту: приладова швидкість (IAS), точна приладова швидкість (CAS), істинна швидкість (TAS), шляхова швидкість (GS) та число Маха (MN). Операційні

(V) швидкості – це ключові граничні значення для безпечного керування літаком під час зльоту, посадки та інших критичних фаз польоту.

Серед експлуатаційних швидкостей центральне місце посідає Calibrated Air Speed (CAS) – точна приладова швидкість, що визначається як різниця між повним тиском (Pt) та статичним тиском (Ps), яка утворює динамічний тиск (q). Повний тиск вимірюється трубкою Піто, а статичний – симетричними приймачами, розміщеними під прямим кутом до вектора руху. CAS є вихідним еталоном для порівняння швидкостей у різних умовах польоту.

Indicated Air Speed (IAS) – приладова швидкість – є безпосереднім показником індикатора швидкості; в ідеальних умовах IAS = CAS, а різниця між ними (інструментальна поправка Δa) виникає через вплив кута атаки, конфігурації закрилків та інших чинників

True Air Speed (TAS) – реальна швидкість літака відносно повітря, скоригована з урахуванням змін атмосферного тиску та температури. Вона використовується для аеродинамічних розрахунків і визначення підйомної сили та аеродинамічного опору на великих висотах.

Ground Speed (GS) – швидкість літака відносно земної поверхні – визначається як векторна сума TAS і вектора швидкості вітру та є ключовою для навігаційних розрахунків маршруту.

Нарешті, число Маха (M) характеризує відношення швидкості літака до швидкості звуку в конкретному середовищі: при M > 1 виникають ударні хвилі, що суттєво змінюють аеродинаміку, тому цей показник є визначальним під час польоту на великих висотах і надзвукових режимах.

Операційні швидкості, або V-швидкості – стандартизовані граничні значення, визначені за результатами льотних випробувань і занесені до

Керівництва з льотної експлуатації (КЛЕ). Позначення «V» походить від англійського velocity. V-швидкості є критичними для безпечної експлуатації на всіх фазах польоту: перевищення максимальних значень загрожує пошкодженням конструкції, а зниження нижче мінімальних – втратою керованості. Серед найважливіших для військово-транспортної авіації такі: V1 – швидкість прийняття рішення про зліт; VR – швидкість підйому передньої стійки; V2 – мінімальна безпечна злітна швидкість з одним непрацюючим двигуном; VA – розрахункова швидкість маневрування; VNO – максимальна структурна крейсерська швидкість; VNE – абсолютна гранична швидкість. Повний перелік V-швидкостей із визначеннями наведено в таблиці:

Таблиця

Перелік номенклатури операційних (V) швидкостей

Позначення V-швидкості	**Опис**
VA	Розрахункова швидкість маневрування
VB	Розрахункова швидкість для максимальної інтенсивності поривів
VC	Розрахункова крейсерська швидкість
VD	Розрахункова швидкість зниження
VEF	Швидкість під час зльоту, на якій критичний двигун, як передбачається, вийде з ладу
VFE	Максимальна швидкість висунутого закрилка
VFTO	Кінцева швидкість зльоту з випущеними закрилками в злітному положенні
VH	Максимальна швидкість у горизонтальному польоті з максимальною тривалою потужністю
VLE	Максимальна швидкість з випущеними шасі

Позначення V-швидкості	Опис
VLO	Максимальна швидкість при випуску та прибиранні шасі
VLOF	Швидкість відриву
VMC	Мінімальна контрольна повітряна швидкість при непрацюючому критичному двигуні
VMO	Максимальна робоча гранична швидкість
VMU	Мінімальна швидкість відриву
VNE	Швидкість, яку ніколи не слід перевищувати
VNO	Максимальна структурна крейсерська швидкість
VR	Швидкість підйому передньої стійки шасі
VREF	Довідкова посадкова швидкість
VS	Швидкість звалювання або мінімальна стабільна швидкість польоту
VS0	Швидкість звалювання в посадковій конфігурації
VS1	Стабільна швидкість у певній конфігурації (наприклад, «чиста» конфігурація)
VSR	Довідкова швидкість звалювання
VX	Швидкість для найкращого кута підйому
VY	Швидкість для найкращої швидкості підйому
V1	Швидкість, на якій приймається рішення про зліт
V2	Безпечна швидкість зльоту
V2min	Мінімальна безпечна швидкість зльоту

Для розуміння практичних наслідків розбіжностей у стандартах показовим є порівняльний аналіз конкретних приладів вимірювання швидкості, що використовуються в авіації ПС ЗСУ та країн-членів НАТО. Одним із найпоширеніших у ПС ЗСУ є комбінований покажчик швидкості КУС-730/1100 – штатний прилад транспортного літака Ан-26. КУС-730/1100 призначений для вимірювання приладової швидкості в

діапазоні 50–730 км/год та істинної швидкості 400–1100 км/год. Принцип дії ґрунтується на вимірюванні швидкісного напору з автоматичною поправкою на щільність і стисливість повітря зі збільшенням висоти: внутрішня шкала відградуйована для TAS (400–1100 км/год), зовнішня – для IAS (50–750 км/год) з ціною поділки 10 км/год.

Попри технічну достатність для виконання завдань у рамках національної авіаційної системи, КУС-730/1100 має критичний недолік з точки зору євроатлантичної інтеграції: прилад не адаптований до відображення операційної номенклатури V-швидкостей, прийнятої в авіації НАТО. Його шкала позбавлена кольорового розграфлення для позначення критичних режимів польоту. Використання км/год замість вузлів (kn) потребує постійного перерахунку при спільних операціях або навчаннях з авіацією Альянсу, що є реальним операційним ризиком.

Показовим контрастом є індикатори серії LUN, зокрема LUN-1107 та LUN-1106, що встановлені на легких транспортних літаках Let L-410, Evektor EV-55 та низці інших повітряних суден країн-членів НАТО. Ключова особливість цих приладів – інформативна шкала з кольоровим розграфленням, що наочно відображає операційні V-швидкості. Біла дуга позначає діапазон роботи закрилків між VS0 та VFE; зелена – нормальний робочий діапазон між VS1 та VNO; жовта – зону підвищеної обережності від VNO до VNE; червона лінія маркує VNE – абсолютну межу. Такий підхід дозволяє пілоту миттєво оцінювати поточний режим польоту без звернення до довідкових матеріалів, що безпосередньо підвищує ситуативну обізнаність і безпеку польоту.

Порівняльний аналіз КУС-730/1100 та LUN-1107 виявляє принципову відмінність за критерієм операційних швидкостей: якщо LUN-

1106 вимірює IAS у діапазоні до 300 вузлів і є оптимальним для легкої авіації, то КУС-730/1100, попри ширший вимірювальний діапазон (IAS і TAS одночасно), принципово не адаптований до використання V-номенклатури. У контексті перспектив впровадження стандартів НАТО у практику ПС ЗСУ індикатори типу LUN-1107 є значно кращим інструментарієм для забезпечення льотної підготовки в дусі євроатлантичних стандартів.

Звернення до міжнародного досвіду підтверджує реалістичність та ефективність поетапної імплементації натівських стандартів у практику авіації постсоціалістичних держав. Польща, Угорщина та Чехія після вступу до НАТО у 1999 р., а також країни Балтії після 2004 р. вирішували завдання, аналогічні тим, що стоять перед Україною. Їхній досвід свідчить: ключовими складовими успішної стандартизації авіаційної термінології є запровадження двомовної (національна мова / англійська) КЛЕ документації з паралельним зазначенням показників у км/год та вузлах; проведення регулярних спільних навчань з авіацією Альянсу для практичного опанування натівської термінології; поступова модернізація авіаційних приладів; інтеграція стандартів ІСАО / НАТО до програм підготовки льотного складу.

Польський досвід є особливо цінним, оскільки Повітряні Сили Польщі успішно поєднують у своєму парку техніку як радянського, так і натівського виробництва, забезпечуючи при цьому повну оперативну сумісність. Схожий шлях пройшли й країни Балтії, авіаційні структури яких, незважаючи на значно менший потенціал, досягли повної відповідності натівським стандартам протягом 5–7 років після вступу до

НАТО, насамперед завдяки системній роботі з нормативною документацією та підготовкою особового складу.

На підставі проведеного дослідження та узагальнення міжнародного досвіду вважаємо за доцільне запропонувати комплекс практичних заходів щодо імплементації номенклатури швидкостей НАТО у практику авіації ПС ЗСУ. По-перше, розробка двомовних довідників відповідностей між радянськими та натівськими позначеннями швидкостей (CAS/IAS/TAS/GS у системах км/год і вузлів, повний перелік V-швидкостей) та їх включення до стандартних документів КЛЕ. По-друге, внесення змін до чинних КЛЕ українських літаків шляхом додавання таблиць відповідностей між приладовими значеннями та стандартами НАТО. По-третє, оцінка можливості маркування шкал наявних індикаторів (типу КУС-730/1100) кольоровими позначками V-швидкостей або їх поступова заміна на прилади з відповідним стандарту НАТО розграфленням. По-четверте, включення порівняльного курсу номенклатури швидкостей НАТО до програм підготовки та перепідготовки льотного складу ПС ЗСУ. По-п’яте, налагодження наукової співпраці з авіаційними закладами країн-членів НАТО для обміну досвідом стандартизації та доступу до актуальних методичних матеріалів.

Отож, проведене дослідження дозволяє зробити кілька висновків. Номенклатура швидкостей НАТО, що базується на стандартах ІСАО, поділяється на експлуатаційні (IAS, CAS, TAS, GS, MN) та операційні (V-швидкості) і є обов’язковою основою для забезпечення оперативної сумісності авіації в рамках Альянсу. Ключові відмінності між стандартами ПС ЗСУ та НАТО полягають у системі одиниць вимірювання, термінології та підходах до візуалізації операційних швидкостей на бортових приладах.

Порівняльний аналіз КУС-730/1100 та LUN-1107 засвідчив, що натівські прилади значно краще адаптовані до відображення V-швидкостей завдяки кольоровому розграфленню шкали, що безпосередньо підвищує ситуативну обізнаність екіпажу. Досвід Польщі, Угорщини, Чехії та країн Балтії підтверджує реалістичність поетапної імплементації міжнародних стандартів за умови системного підходу, що охоплює документаційне, технічне та навчальне забезпечення. Запропонований комплекс рекомендацій є практичним внеском у досягнення оперативної сумісності авіації ПС ЗСУ з авіацією країн-членів НАТО та сприяє реалізації стратегічного курсу України на євроатлантичну інтеграцію.

Список використаних джерел

1. Flight Operations Support & Line Assistance. Getting to grips with aircraft performance // Airbus, January 2022. C. 23–27. URL: https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/2263.pdf (дата звернення: 19.04.2025).

2. Lengel R. Everything about V Speeds Explained. Flying Magazine. URL: https://www.flyingmag.com/everything-about-v-speeds-explained/ (дата звернення: 19.03.2025).

3. V-Speeds Explained (Vx, Vy, Va, Vs, Vfe, Vmc, Vno, Vne, etc). Pilot Institute. – URL: https://pilotinstitute.com/v-speeds-explained/ (дата звернення: 19.04.2025).

4. Pilot’s Guide to Aviation V-Speeds. Aviex. URL: https://aviex.goflexair.com/blog/v-speeds (дата звернення: 19.04.2025).

5. Airspeed Indicators. Mikrotechna. URL: https://www.mikrotechna.cz/index.php/en/aerospace-manufacturing/airspeed-indicators (дата звернення: 19.04.2026).

6. ICAO Doc 9905 AN/471. Manual on the Approval of Flight Procedures Based on RNP AR. ICAO, 2009. P. 3–1. URL: https://www.icao.int/Meetings/PBN-Symposium/Documents/9905_cons_pdf (дата звернення: 19.04.2026).

7. Kombinirovannyi ukazatel skorosti KUS-730/1100. URL: (дата звернення: 19.04.2026).

8. Czarnecki W. Integracja lotnictwa wojskowego Polski ze strukturami NATO: doświadczenia i wnioski // Przegląd Sił Powietrznych. 2005. № 4. S. 12–22.

9. Simon J. NATO and the Czech and Slovak Republics: A Comparative Study in Civil-Military Relations. – Lanham : Rowman & Littlefield, 2004. P. 87–104.

УДК 629.7.014.7.036

Рубльов Володимир Іванович, доцент, кандидат технічних наук;
Отрешко Наталія Миколаївна, старший викладач;
Рубльова Раїса Іванівна, старший викладач,
Харківський національний університет Повітряних Сил
ім. Івана Кожедуба, м. Харків

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ТРАНСПОРТНИХ ЛІТАКІВ

Анотація. *Запропоновано методологію комплексного оцінювання технічного рівня реактивних транспортних літаків на основі розробки комплексного стратегічного інтегрального показника (КСІП). Проведено аналіз еволюції силових установок з урахуванням термодинамічних параметрів робочого циклу, паливної економічності та вагової досконалості конструкції. Обґрунтовано домінуючу роль параметрів робочого процесу ТРДД у підвищенні загальної енергетичної ефективності авіаційних систем.*

Ключові слова: *транспортний літак, ТРДД, технічний рівень, інтегральний показник, паливна система, термодинамічна ефективність.*

Abstract. *The paper proposes a methodology for a comprehensive assessment of the technical level of jet transport aircraft based on the development of a complex strategic integral indicator (CSII). The evolution of propulsion systems is analyzed taking into account the thermodynamic parameters of the working cycle, fuel efficiency, and structural weight*

perfection. The dominant role of turbofan engine cycle parameters in increasing the overall energy efficiency of aviation systems is substantiated.

Keywords: *transport aircraft, turbofan, technical level, integral indicator, fuel system, thermodynamic efficiency.*

Сучасний етап розвитку світової авіаційної галузі характеризується необхідністю постійного підвищення енергетичної досконалості реактивних транспортних літаків. Визначальним чинником прогресу залишається еволюція газотурбінних двигунів. Підвищення температури газів перед турбіною та ступеня двоконтурності дозволили суттєво знизити питому витрату палива, що є базовим критерієм конкурентоспроможності на світовому ринку [1].

Аналіз сучасного стану досліджень свідчить про наявність значної кількості підходів до оцінювання технічного рівня, проте вони часто не пропонують єдиного комплексного показника для стратегічного порівняння зразків різних класів. Актуальною є розробка уніфікованого інструментарію, який враховує параметри паливної, повітряної та масляної систем двигуна як складових термодинамічного циклу [2].

Методологія та результати. Для проведення дослідження сформовано репрезентативну базу даних, що включає 78 типів реактивних транспортних літаків, згрупованих за класами тяги двигунів.

Запропоновано комплексний стратегічний інтегральний показник (КСІП), який об’єднує 15 техніко-економічних параметрів. Процедура оцінювання включає етап нормалізації вихідних даних за допомогою лінійного масштабування до діапазону [0; 1], що дозволяє порівнювати різнорозмірні величини.

Особливу увагу в моделі приділено ваговим коефіцієнтам термодинамічних параметрів СУ, зокрема враховано вплив ефективності паливної та масляної систем на загальну надійність та економічність. Розрахунки підтверджують, що підвищення ступеня двоконтурності у поєднанні з оптимізацією повітряної системи охолодження гарячої частини ТРДД забезпечує зростання технічного рівня на 12–15% для літаків останнього покоління. Результати кластерного аналізу дозволили ідентифікувати технологічні розриви між поколіннями авіаційної техніки та спрогнозувати динаміку енергетичної досконалості до 2050 р. [3; 4].

Розроблена методологія дозволяє об’єктивно оцінювати технічний рівень транспортних літаків різних поколінь. Встановлено, що баланс між масогабаритними характеристиками планера та ефективністю силової установки є визначальним для досягнення технологічної межі галузі.

Список бібліографічних посилань

1. Кравченко І. Ф. Процеси та характеристики авіаційних двигунів : підручник. Запоріжжя : Просвіта, 2015. 436 с.

2. Зрелов В. А. Отечественные газотурбинные двигатели. Основные параметры и конструктивные схемы : учебное пособие. Москва : Машиностроение, 2005. 336 с.

3. Epstein A. H. Propulsion system technologies for next-generation commercial aircraft. Progress in Aerospace Sciences. 2021. Volume 123. 100706.

4. Cumpsty N. A. The limits to improvements in jet engine efficiency // Phil. Trans. R. Soc. A. 2010. Volume 368. P. 3585–3597.

УДК 621.396.969.3:623]:629.78]:006.35(100)НАТО

Лазута Роман Романович, молодший науковий співробітник;
Бичковська Олександра Василівна, молодший науковий співробітник,
Науково-дослідний центр Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ

ПРОПОЗИЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ КОСМІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ СТАНДАРТІВ ТА ПРИНЦИПІВ НАТО

Анотація. *У межах Альянсу космічна підтримка реалізується через роботу штабних фахівців, які виступають стратегічними та оперативними радниками командування з питань використання космічного простору в операціях. Для Збройних Сил України пріоритетним вектором є трансформація системи управління та оптимізація структури космічної діяльності згідно зі стандартами НАТО. Це передбачає не лише технічний розвиток, а й модернізацію організаційних підходів до застосування космічних технологій у секторі оборони.*

Впровадження нової моделі космічної діяльності базується на створенні цілісної інфраструктури підтримки бойових дій. Основна ідея полягає у чіткому розподілі відповідальності між підрозділами Міністерства оборони та Збройних сил України, а також у впровадженні стандартних процедур планування операцій. При цьому критично важливим є поєднання передового досвіду НАТО з вітчизняними напрацюваннями, здобутими під час проведення Антитерористичної операції, Операції об'єднаних сил та захисту безпеки населення та інтересів держави у зв'язку з військовою агресією Російської Федерації проти України.

Реалізація цих пропозицій дозволить створити адаптивну систему, яка інтегрує космічні продукти та послуги як у щоденну діяльність військ, так і в процеси безпосереднього планування бойових операцій.

Ключові слова: *космічна діяльність, космічна технологія, космічний простір, НАТО.*

Abstract. *Within the Alliance, space support is provided through the work of staff specialists who serve as strategic and operational advisors to the command on the use of space in operations. For the Armed Forces of Ukraine, the priority vector is the transformation of the management system and the optimization of the space activities structure in accordance with NATO standards. This entails not only technical development but also the modernization of organizational approaches to the application of space technologies in the defense sector.*

The implementation of a new model for space activities is based on the creation of a comprehensive infrastructure to support combat operations. The main idea lies in a clear delineation of responsibilities between the units of the Ministry of Defense and the Armed Forces of Ukraine, as well as in the implementation of standard operational planning procedures. At the same time, it is critical to combine NATO's best practices with domestic experience gained during the Anti-Terrorist Operation, the Joint Forces Operation and the protection of civilian security and state interests due to the military aggression of the Russian Federation against Ukraine.

Implementing these proposals will facilitate the creation of an adaptive system that integrates space products and services into both routine military activities and operational planning processes.

Keywords: *space activities, space technology, outer space, NATO.*

У сучасних війнах фундаментом перемоги є технологічне домінування та посилення інформаційного компонента операцій, саме тому провідні країни світу зосереджують зусилля на розвитку космічного сегмента.

Космічний простір дозволяє легітимно здійснювати всеосяжне спостереження за планетою та забезпечувати безперебійний обмін даними.

Супутникові системи розвідки, навігації, раннього виявлення та зв’язку формують єдине інформаційне середовище, критично важливе як для стратегічного командування, так і для тактичних підрозділів. Залучення космічних технологій є ключовим фактором нарощування оперативних спроможностей сил оборони, зокрема у питаннях мобільності, живучості та ефективного управління.

Космічна діяльність охоплює повний цикл: від наукових розробок і виробництва техніки до експлуатації та безпосереднього управління об’єктами на орбіті. Водночас поточна модель космічної підтримки Збройних Сил України потребує модернізації задля досягнення повної взаємосумісності зі стандартами НАТО та відповідності вимогам часу.

Аналіз актуальних досліджень українських та зарубіжних фахівців свідчить, що космічні системи військового й подвійного призначення стають критично важливими для всього сектору безпеки та оборони. Зокрема, спостерігається зміщення фокусу з суто інформаційної підтримки до безпосереднього залучення космічних засобів у здійснення оборонних та ударних операцій [1–3].

У країнах-членах НАТО функція космічної підтримки полягає у забезпеченні виконання завдань особовим складом штабу, який буде виконувати функції радників командувачів з питань космічної підтримки операцій.

Космічна підтримка здійснює планування, впровадження, координацію та організацію реалізації можливостей видів космічного забезпечення (космічної діяльності) під час планування операцій та дій військ; експертну оцінку з можливості надання видами космічного

забезпечення космічних продуктів та послуг штабам та підлеглим військам.

Космічна підтримка не дублює функції видів космічного забезпечення. Вона лише надає та отримує дані щодо можливості видів космічного забезпечення з метою збільшення ефективності планування та проведення операцій за рахунок продуктів та послуг космічної діяльності (рис. 1) [4].

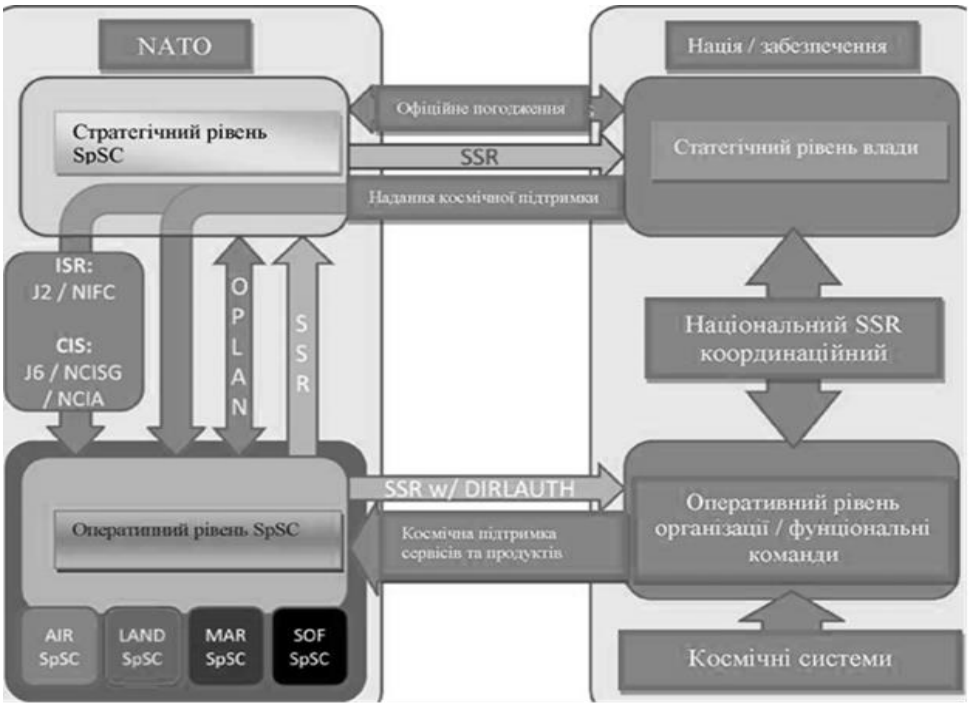


Рис. 1. Організація космічної підтримки у НАТО

Космічна підтримка в НАТО складається зі стратегічного та оперативного рівнів.

На стратегічному рівні космічна підтримка зосереджена на обґрунтуванні потреб у ресурсах космічного забезпечення та формуванні

стратегії нарощування спроможностей для виконання завдань у всьому спектрі операцій. До компетенції цього рівня належить розроблення регламентів запиту та надання космічних послуг і продуктів від країн-партнерів, а також укладання офіційних домовленостей щодо доступу до них. Стратегічна ланка забезпечує загальне керівництво та координацію процесів планування і проведення операцій з використанням результатів космічної діяльності.

Крім того, цей рівень відповідає за організацію підготовки особового складу та навчання підпорядкованих структур виконанню специфічних завдань у космічній сфері. У межах оборонного планування стратегічна підтримка забезпечує ідентифікацію необхідного складу сил та засобів від постачальників, гарантуючи отримання критично важливих космічних даних і сервісів під час операцій.

Космічна підтримка оперативного рівня фокусується на забезпеченні поточних дій шляхом використання встановлених процедур та наявного ресурсу космічних спроможностей і послуг. Як штабна функція, вона передбачає безперервний моніторинг потенціалу відповідних систем для надання своєчасних пропозицій щодо їхнього задіяння. Основне завдання на цьому рівні полягає в акумулюванні та опрацюванні запитів на космічні продукти через визначені механізми, а також у встановленні черговості (пріоритетності) їх виконання.

Під час проведення планування операцій аспекти космічної підтримки повинні враховуватись на всіх його етапах. Визначення вимог до космічної підтримки є частиною розробки стратегічного та оперативного замислу операції. Це реалізується в запитах до космічної

підтримки та у створенні відповідного додатку до плану операції, що включає космічну специфіку [5].

На етапі створення угруповання сил у межах стратегічного планування визначаються вимоги до космічної підтримки, які передаються відповідним підрозділам космічного забезпечення. Останні мають надати всю необхідну інформацію від переліку послуг до процедур доступу та контактів для ефективного планування операцій. Організація підтримки на театрі воєнних дій потребує тісної взаємодії між споживачами та постачальниками космічних ресурсів. Космічна підтримка є невід'ємною частиною загальної системи оперативного планування. Ключову роль тут відіграє офіцер (група) з космічної підтримки штабу, чиє завдання – допомогти командуванню оцінити потреби в космічних продуктах та організувати їх безперебійне надання на всіх рівнях: від стратегічного до тактичного. Попри можливе перетинання сфер відповідальності з управліннями розвідки (J2), операцій (J3), планування (J5) чи зв'язку (J6), головною функцією офіцера з космічної підтримки залишається координація взаємодії між джерелами забезпечення та кінцевими користувачами.

До основних завдань офіцера (групи) космічної підтримки штабу належать: впровадження та удосконалення підтримки, яка має бути своєчасною і оперативною; забезпечення визначення пріоритетів та надання продуктів і послуг від об'єктів космічної діяльності, для досягнення цілей операції; розуміння координації та взаємодії при здійсненні інформаційного забезпечення даними від об'єктів космічної діяльності; підтримка ситуаційної обізнаності в межах операції; надання допомоги персоналу у створенні елементів, пов'язаних із забезпеченням

даними від об’єктів космічної діяльності в зоні дій; координація з планувальниками радіоелектронної боротьби, щоб уникнути негативного впливу на мирне використання космосу; дослідження впливу електромагнітних перешкод на космічну продукцію та послуги; координація з J3 і J6; підтримка заходів щодо відновлення та пошуку персоналу; розробка заходів з ефективності забезпечення космічними продуктами та послугами планування та проведення операції; моніторинг використання противником космічних систем та надання пропозицій щодо його обмеження; визначення критичних космічних продуктів, послуг у проведенні операції та розробка переліку заходів у разі погіршення або втрати зазначених продуктів та послуг; вивчення особливостей бойового складу та взяття участі у підготовці відповідного особового складу; налагодження координації з J2, J3, J5 та J6, координація співробітників з питань використання космічних продуктів та послуг; координація з метеорологічним персоналом щодо впливу космічної/земної погоди на забезпечення даними від об’єктів космічної діяльності; співпраця з J6 щодо встановлення пріоритетності пропускної здатності супутника на основі пріоритету операції; консультація персоналу про потенційні негативні впливи, пов’язані з космосом; розвиток / вдосконалення фахових навичок із забезпечення даними від об’єктів космічної діяльності; визначення та проведення планових звітів щодо ефективності космічних засобів, а також щодо інших проблем, що виникли під час виконання завдання; визначення впливу космічних умов на успішне виконання завдання і акцентування уваги на моменти, де можуть виникнути ризики; участь в розробці стратегій та планів; здійснення моніторингу поточних операцій; отримання даних про противника; збір відомостей про можливі загрози, що мають

природне або техногенне походження, є необхідним для об’єктивного аналізу результативності операції; отримання даних щодо складу й чисельності наземних сил та характеристик їхніх озброєнь, а також визначення специфіки їх функціонування в космічному просторі.

Перелік питань, яких офіцер (група) космічної підтримки штабу має уникати, якщо інші члени штабу відповідальні за виконання та здатні виконувати такі завдання [6]: не збирати інформацію відповідно до задач космічних засобів, спостереження та розвідки, проте надавати інформацію особі, яка є відповідальною за збір розвідувальної інформації щодо наявності та можливості використання об’єктів космічної діяльності для спеціальних цілей; не використовувати неналежні супутникові частоти, проте забезпечувати належне використання супутникових частот шляхом надання експертної підтримки відділу J6 у створенні матриці пріоритезації користувачів, розробці планів дій на випадок дефіциту ресурсу та оцінці виникаючих проблем з позиції оператора космічних засобів для доповнення їх комунікаційного підходу; не розробляти звіти з погодної обстановки, проте необхідно зосередитись на підтримці діяльності штабних метеорологів, гарантуючи чітке розуміння ними своїх функцій щодо інформування про зміни та прогнози погоди, а також забезпечуючи їх усіма ресурсами, необхідними для ефективного виконання цих обов’язків.

Враховуючи вищезазначене, головними напрямками створення системи космічної підтримки у Збройних Силах України (далі – ЗСУ) є: удосконалення системи й оптимізація структури космічної діяльності у Міністерстві оборони України (далі – МОУ) та ЗСУ; розвиток

організаційно-технічних структур (систем); застосування (використання) космічної техніки та технологій відповідно до стандартів НАТО.

Реалізація запропонованого передбачає розроблення, впровадження та розвиток нової моделі космічної діяльності в сфері безпеки та оборони, особливо в МОУ та ЗСУ відповідно до сучасних умов та національних інтересів, шляхом формування інфраструктури космічної підтримки операцій (бойових дій) угруповань військ (сил) ЗСУ на основі розподілу відповідальності підрозділів МОУ та ЗСУ за космічну діяльність у сфері безпеки і оборони та космічну підтримку, а також порядку їх взаємодії під час запровадження в органах військового управління (військового командування) стандартних процедур космічної підтримки операцій (бойових дій) з урахуванням вітчизняного досвіду космічної діяльності у сфері оборони, досвіду проведення Антитерористичної операції, Операції об’єднаних сил та захисту безпеки населення й інтересів держави у зв’язку з військовою агресією Російської Федерації проти України.

Для вирішення завдань з організації космічної діяльності та космічної підтримки (управління, контролю, координації, взаємодії, забезпечення тощо) у сфері оборони, створення та застосування (використання) космічної техніки, формування та використання даних від об’єктів космічної діяльності (космічних продуктів) і космічних послуг, контролю їх якості, забезпечення визначених точності, достовірності та оперативності, зазначений варіант передбачає створення (удосконалення) відповідних організаційних структур (визначення посадових осіб), а саме: у складі МОУ – структурного підрозділу, безпосередньо підпорядкованого міністерству з функцією відповідальності за космічну діяльність у сфері безпеки і оборони України та космічну підтримку стратегічного рівня з

організації та координації космічної діяльності в МОУ та ЗСУ; у складі Генерального штабу (далі – ГШ) ЗСУ – системи космічної підтримки частково стратегічного рівня та оперативного рівня для забезпечення космічними послугами з функцією збору, аналізу та обробки потреб (запитів) у космічних послугах структурних підрозділів ЗСУ та вживання заходів щодо їх надання за видами космічного забезпечення: дистанційне зондування Землі (космічна розвідка ISR), контроль та аналіз космічної обстановки (космічна ситуаційна обізнаність SSA), супутниковий зв'язок (SATCOM), координатно-часове та навігаційне забезпечення (PNT), спеціальний контроль та сейсмічний моніторинг (метеорологія та океанографія METOC); у визначених органах військового управління та командуваннях ЗСУ – фахівців з космічної підтримки оперативного рівня для виконання завдань з організації із забезпечення космічними послугами та продуктами (офіцерів з космічної підтримки).

До основних заходів зі створення системи космічної підтримки стратегічного рівня можуть відноситись: створення структурного підрозділу із функцією космічної підтримки стратегічного рівня з організації та координації космічної діяльності в МОУ; удосконалення координації космічної діяльності в інтересах МОУ та ЗСУ, удосконалення нормативно-правової бази з космічної діяльності у МОУ та ЗСУ; розвиток наукових досліджень у сфері космічної діяльності створення космічної техніки і технологій, її оперативного впровадження у зразки ОВТ, розвиток форм і способів її застосування в МОУ та ЗСУ; створення у складі ГШ ЗСУ системи космічної підтримки стратегічного рівня; організація підготовки військових фахівців з космічної підтримки.

Зазначені пропозиції нададуть змогу забезпечити формування системи управління космічною діяльністю та космічною підтримкою стратегічного й оперативного рівня у МОУ та ЗСУ, організацію та розвиток взаємодії і міжвідомчої координації при вирішенні завдань (виконанні заходів), підвищення відповідальності та ефективності застосування (використання) космічної техніки, використання космічного простору для забезпечення виконання завдань МОУ та ЗСУ, формування і провадження заходів космічної діяльності; забезпечити фахове та ефективне застосування (використання) сучасної космічної техніки, використання спеціальної космічної інформації (космічних продуктів) і космічних послуг відповідно до вимог МОУ та ЗСУ; забезпечити формування єдиної воєнно-космічної науково-педагогічної школи, підготовку фахівців за визначеними спеціальностями та спеціалізаціями відповідно до вимог МОУ та ЗСУ; забезпечити автоматизоване отримання космічних продуктів та послуг визначеної точності, достовірності та оперативності, достатніх для прийняття своєчасних і обґрунтованих рішень, ефективного управління військами (силами) та застосування зброї органами військового управління та військового командування, угрупуваннями військ (сил) ЗСУ.

Впровадження пропозицій надасть змогу побудувати єдину адаптовану систему використання спроможностей космосу у сфері безпеки та оборони України, що розширить сферу використання продуктів та послуг космічної діяльності у повсякденній діяльності та під час планування операцій (бойових дій).

Подібні системи космічної підтримки створені та діють у НАТО та його країнах-членах. На сьогодні зазначені країни створюють системи, які

забезпечують підтримку та реалізацію космічних операцій або проведення операцій у космосі, але це є наступний етап розвитку космічної діяльності та космічної підтримки у сфері безпеки та оборони [6–8], який нашій державі не досягти без створення основи для застосування своїх космічних спроможностей і інтеграції з космічними спроможностями НАТО та інших союзницьких сил за єдиними принципами та стандартами.

Список бібліографічних посилань

1. Анисенко О. В., Бабіна Д. О. Розвиток космічної галузі в Україні // Агросвіт. 2018. № 11. С. 55–59.

2. NATO «APCC FillingtheVacuum – A Frameworkfor a NATO SpacePolicy 2012». URL: https://www.japcc.org/wp-content/uploads/SPP_2012_web.pdf (дата звернення: 24.04.2026).

3. Космос: найостанніший кордон НАТО, 18 березня 2020 року**.** URL: https://www.nato.int/docu/review/uk/articles/2020/03/18/kosmos-najostannshij-kordon-nato/index.html (дата звернення: 25.04.2026).

4. AJP-3.3 Allied Joint Publication-3.3 (AJP-3.3) URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a82d7bc40f0b62305b94a32/doctrine_nato_air_space_ops_ajp_3_3.pdf. (дата звернення: 24.04.2026).

5. FieldManual 3-14 (FM 3-14): SpaceSupporttoArmyOperations URL: https://info.publicintelligence.net/USArmy-SpaceOperations.pdf (дата звернення: 27.04.2026).

6. JP 3-14, Space Operations, CH 1, 26 October 2020. URL: https://irp.fas.org/doddir/dod/jp3_14.pdf (дата звернення: 24.04.2026).

7. Air Force Doctrine Document 3-14 (AFDD 3-14): Space Operations 27 August 2018. URL: https://www.doctrine.af.mil/Portals/61/documents/AFDP_3-14/AFDP-3-14-Counterspace-Ops.pdf (дата звернення: 28.04.2026).

8. Air Force Doctrine Document 3-14.1 (AFDD 3-14.1): Counterspace Operations, 2 August 2004. Incorporating Change 1, 28 July 2011. URL: https://www.doctrine.af.mil/Doctrine-Publications/AFDP-3-14-Counterspace-Ops/ (дата звернення: 29.04.2026).

УДК 004.9:001.89](477)

Дем'яненко Віктор Тарасович, завідувач відокремленого підрозділу,
Вороновицький музей історії авіації та космонавтики
Вінницького обласного краєзнавчого музею,
с-ще Вороновиця Вінницької обл.

РОЛЬ ЦИФРОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ У ЗБЕРЕЖЕННІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ СПАДЩИНИ УКРАЇНИ

Анотація. *Розглянуто сучасні підходи до збереження науково-технічної спадщини України засобами цифрових інформаційних ресурсів. Проаналізовано роль технічних музеїв у збереженні галузевих знань, історичних матеріалів та науково-технічної документації. Висвітлено основні напрями цифровізації музейної діяльності, зокрема використання електронних каталогів, цифрових архівів, віртуальних виставок, інтерактивних платформ і технологій тривимірного моделювання. Окрему увагу приділено розвитку онлайн-форматів діяльності музеїв в умовах воєнних і суспільних змін та їх значенню для забезпечення доступу до науково-технічної інформації. Визначено, що розвиток електронних інформаційних ресурсів сприяє збереженню наукової спадщини, популяризації технічних знань, підтримці STEM-освіти та інтеграції українських інформаційних ресурсів у міжнародний науковий простір.*

Ключові слова: *науково-технічна спадщина, технічні музеї, цифрові інформаційні ресурси, цифрові архіви, віртуальні музеї, онлайн-формати діяльності, електронні каталоги, інформаційні технології.*

Abstract. *The article examines modern approaches to preserving the scientific and technical heritage of Ukraine through digital information resources. The role of technical museums in preserving specialized knowledge, historical materials, and scientific and technical documentation is analyzed. The main directions of museum digitalization are highlighted, including the use of electronic catalogs, digital archives, virtual exhibitions, interactive platforms, and three-dimensional modeling technologies. Particular attention is paid to the development of online formats of museum activity in the context of wartime and social changes, as well as their importance in ensuring access to scientific and technical information. The study shows that the development of electronic information resources contributes to the preservation of scientific heritage, the popularization of technical knowledge, the support of STEM education, and the integration of Ukrainian information resources into the international scientific space.*

Keywords: *scientific and technical heritage, technical museums, digital information resources, digital archives, virtual museums, online museum formats, electronic catalogs, information technologies.*

У сучасних умовах інформаційні технології суттєво впливають на підходи до збереження, систематизації та популяризації науково-технічної спадщини. Особливого значення ці процеси набувають для технічних музеїв, які є важливими осередками накопичення галузевої інформації, історичних матеріалів, технічної документації та наукових знань. Використання сучасних технологій дозволяє розширити доступ до музейних ресурсів і створює нові можливості для взаємодії з аудиторією.

Актуальність розвитку електронних інформаційних ресурсів в Україні значно зросла під час сучасних глобальних і воєнних викликів. Обмежений доступ до наукових установ і закладів культури зумовив необхідність пошуку нових способів збереження та представлення науково-технічної спадщини. За цих умов цифрові технології

перетворилися на один із ключових засобів захисту, документування та поширення інформації про науково-технічні досягнення.

Особливу цінність в цьому контексті мають технічні музеї, зокрема музеї авіації, космонавтики та історії техніки. Саме вони зберігають матеріали, пов’язані з розвитком інженерної думки та аерокосмічної науки в Україні. До таких матеріалів належать архівні документи, кресленики, технічні моделі, мультимедійні матеріали та інші об’єкти науково-технічної спадщини. Їх збереження та представлення потребує використання електронних каталогів, цифрових архівів, віртуальних виставок та інтерактивних платформ. Водночас розвиток електронних ресурсів потребує не лише технічного забезпечення, а й формування єдиних підходів до оцифрування, систематизації та представлення галузевих інформаційних ресурсів. У цьому контексті важливим є аналіз сучасних підходів до розвитку електронних ресурсів технічних музеїв України.

Проблематика трансформації музейної сфери, розвитку інформаційних ресурсів та впровадження онлайн-форматів діяльності технічних музеїв України привертає увагу сучасних дослідників. Окремі аспекти цієї тематики, зокрема модернізацію музейної діяльності, використання інформаційних технологій та трансформацію музейного простору, розглянуто у працях В. Крамара, Р. Маньковської, К. Смаглай, А. Хеленюк та інших науковців.

Метою цього повідомлення є аналіз сучасних підходів до збереження науково-технічної спадщини України шляхом розвитку цифрових інформаційних ресурсів та онлайн-форматів діяльності технічних музеїв.

Реалізація цих підходів базується на використанні сучасних технологій, які забезпечують нові можливості для документування, збереження та представлення музейних колекцій.

Сучасні технології стали важливим інструментом для документування, збереження та популяризації об’єктів наукової й технічної спадщини. За даними дослідження Українського культурного фонду, впровадження цифрових технологій у музейну діяльність дозволяє не лише створювати точні копії артефактів, а й забезпечувати їх довготривале збереження та доступність для майбутніх поколінь.

Серед основних технологій оцифрування застосовуються методи візуальної фіксації, тривимірного сканування, фотограмметрії, лазерного сканування, а також створення цифрових моделей і реконструкцій. Такі технології сприяють формуванню сучасних електронних ресурсів, які забезпечують доступ до науково-технічної інформації незалежно від місця перебування користувачів.

Електронне документування набуває особливого значення в умовах загрози фізичного пошкодження або втрати об’єктів науково-технічної та культурної спадщини. Досвід діяльності українських музеїв у період війни демонструє, що цифровізація стає важливим механізмом збереження інформації про історичні та науково-технічні цінності. За даними Міністерства культури та стратегічних комунікацій України, станом на 2023 рік значна кількість музейних установ активізувала процеси оцифрування своїх колекцій саме з метою їх захисту та збереження [4].

На основі аналізу сучасних досліджень та практики роботи музейних установ до основних онлайн-форматів взаємодії належать онлайн-виставки, електронні каталоги, цифрові архіви, віртуальні тури та

інтерактивні платформи. Одним із ключових напрямів розвитку галузевих інформаційних ресурсів є впровадження сучасних форматів представлення музейних експозицій. Серед них важливе місце займають онлайн-виставки, які забезпечують широкий доступ до науково-технічних колекцій незалежно від географічного розташування користувачів.

В українських музеях дедалі частіше використовуються електронні каталоги, інтерактивні виставки та віртуальні тури, що дозволяють презентувати музейні колекції ширшій аудиторії. Аналіз практики діяльності музеїв свідчить, що найбільш поширеними інструментами електронної презентації є використання фотосервісів, відеоконтенту та інтерактивних платформ. Значна кількість музеїв активно застосовує сучасні онлайн-сервіси для публікації візуального контенту, що дозволяє ефективно презентувати експонати та використовувати їх у комунікації з аудиторією. Водночас більш складні технології, зокрема 3D-моделювання та віртуальні тури, впроваджуються значно рідше через високі витрати та потребу в спеціалізованих ресурсах.

Серед сучасних інструментів взаємодії варто також виділити використання аудіогідів, відеоплатформ, QR-кодів, інтерактивних елементів та онлайн-активностей, що сприяють підвищенню залученості користувачів. Окремі музеї впроваджують імерсивні технології, зокрема технології віртуальної та доповненої реальності (VR та AR), однак їх використання поки не є масовим. Таким чином, розвиток електронних інформаційних ресурсів технічних музеїв України відбувається поступово, поєднуючи доступні інструменти та інноваційні технологічні рішення [3].

Цифрові трансформації в музейній сфері сприяли розвитку віртуальних музеїв як нової форми представлення наукової та технічної

спадщини. Віртуальний музей є важливою складовою цифрового інформаційного середовища та не замінює традиційний музейний простір, а доповнює його, розширюючи доступ до експозицій і можливості взаємодії з аудиторією. Створення віртуальних музеїв базується на використанні інтерактивних технологій, зокрема віртуальних турів, які дозволяють користувачам переглядати експозиційні зали, досліджувати об’єкти та отримувати додаткову інформацію в онлайн-середовищі.

Завдяки цьому забезпечується доступ до науково-технічних ресурсів незалежно від місця перебування користувача, а також посилюється освітня та комунікаційна функція музеїв [1; 2]. Цифрові ресурси технічних музеїв також можуть використовуватись у STEM-освіті та популяризації інженерних і наукових спеціальностей серед молоді. Розвиток електронних архівів сприяє інтеграції українських інформаційних ресурсів у міжнародний науковий простір та розширює можливості міжінституційної співпраці.

Цифрова трансформація технічних музеїв України набуває особливого значення в умовах сучасних викликів, оскільки забезпечує не лише розширення доступу до науково-технічної спадщини, а й її збереження у разі втрати або пошкодження оригінальних об’єктів. Це дає підстави розглядати сучасні технології як один із ключових інструментів захисту наукової спадщини та розвитку галузевих інформаційних ресурсів [4].

Таким чином, розвиток електронних інформаційних ресурсів технічних музеїв є важливою складовою збереження науково-технічної спадщини України. Використання сучасних онлайн-форматів дозволяє не лише забезпечити доступ до музейних колекцій, а й створює умови для

збереження галузевих знань, їх популяризації та подальшого використання у науковій, освітній, музейній і просвітницькій діяльності.

Список бібліографічних посилань

1. Волинець В. Новий зміст і потенціал віртуального музею // Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері. Том 3, № 2. С. 122–133. DOI: https://doi.org/10.31866/2617-796x.3.2.2020.220582 (дата звернення: 02.03.2026).

2. Розгон О. Віртуальна версія музею як засіб упровадження цифрових технологій // Право та інноваційне суспільство. 2019. № 2 (13). С. 20-26.

3. Шинкарук А., Самсонюк Т. Цифрова готовність в публічному управлінні музеями // Публічно-управлінські та цифрові практики. 2025. Вип. 1 (4). С. 122–129. DOI: https://doi.org/10.31673/2786-7412.2025.016470 (дата звернення: 02.03.2026).

4. Цифрова трансформація музеїв як інноваційний метод збереження та популяризації культурної спадщини України в контексті світових тенденцій / І. Шимкова, С. Цвілик, О. Марущак, В. Глуханюк // Мистецтво в культурі сучасності: теорія та практика навчання. 2025. № 5. Т. 1. С. 85–92. DOI: https://vspu.net/eduarts/index.php/journal/issue/view/9/11 (дата звернення: 04.03.2026).

УДК 629.78:001.89](477.54-25)”19/20”(01)

Біда Анатолій Григорович, бібліотекар,
Харківська державна наукова бібліотека ім. В. Г. Короленка,
член правління Харківської організації
Всеукраїнського товариства «Просвіта» ім. Т. Г. Шевченка,
м. Харків

НАУКОВІ ТА НАУКОВО-ПОПУЛЯРНІ ВИДАННЯ ЯК ДЖЕРЕЛО ВИВЧЕННЯ У ХАРКОВІ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Анотація. *Розглянуто наукові та науково-популярні літературні джерела, присвячені внеску харківських учених, інженерів і конструкторів у розвиток ракетно-космічної техніки та підкорення космічного простору. Проаналізовано публікації, що висвітлюють діяльність наукових установ, освітніх закладів та конструкторських колективів. Особливу увагу приділено працям, у яких розглядається роль харківських наукових шкіл у підготовці інженерних кадрів, розвитку фундаментальних досліджень та створенні систем керування ракетно-космічними апаратами. Зроблено висновок про особливе місце Харкова як одного з провідних наукових центрів держави, що сприяв становленню та розвитку космонавтики у XX–XXI ст.*

Ключові слова: *література та дослідження космічних просторів, підприємства Харкова, освіта про космос, ключові фігури наукових розробок, Харків – мозковий центр ракетних програм.*

Abstract. *The report examines scientific and popular science literary sources devoted to the contribution of Kharkiv scientists, engineers, and designers to the development of rocket and space technology and the exploration of outer space. Publications highlighting the activities of scientific institutions, educational establishments, and design teams are analyzed. Particular attention is paid to works that consider the role of Kharkiv scientific schools in training engineering personnel, advancing fundamental research, and creating control systems for rocket and space vehicles. The conclusion emphasizes the special place of*

Kharkiv as one of the leading scientific centers of the country, which contributed to the formation and development of astronautics in the XXth–XXIst centuries.

Keywords: *Literary discourse and exploration of outer space, Industrial enterprises of Kharkiv, Space-oriented educational initiatives, Prominent figures in scientific innovation, Kharkiv as the intellectual center of rocket programs.*

Настала пора озирнутися назад і переглянути дослідження, відкриття, патентні винаходи харківських науковців, аби світ, а також інші українські розробники могли сповна оцінити внесок харків'ян, зробити висновки й розширити спектр робіт, додавши свої ідеї, що з'явилися на підставі новітніх досягнень.

Кажуть, на Марсі вже давно чекають допитливих дослідників-землян. Тільки останні ще не наважуються кинути виклики космічним просторам, час від часу підкреслюють: ось готується експедиція…. Оголошено конкурс на забезпечення космічних перельотів; створення марсіанських поселень… Про таке – переважно в піар-засобах та у фантастичних творах. Чи дочекаємося реальних відвідин далекої планети?!

Епоха космічних польотів та відкриттів ознаменована й появою низки наукових і науково-популярних літературних публікацій. Задовго до навколоземних досліджень вони обґрунтовували різні проєкти, доповнювали інформацію про учасників подій. З другої половини XIX ст. це підкріплювалося не тільки словами, а й цікавими ілюстраціями. Література про понад 70-річне практичне освоєння довколаземних просторів численна й різнобічна. Вона не тільки допомагає спрямовувати пошуки науковців, але й наближати суспільство до осмислення власного

існування у Всесвіті, стимулювати нові напрямки розвитку заради прогресу.

У різних джерелах спостерігаємо поважне ставлення до фундаторів космічних відкриттів – українців, засвоєння їхніх настанов і уроків, дослідження є також ілюстраціями етапів розвитку багатосторонньої науки.

Незвідані простори не відразу піддавались беззаперечному розумінню вчених. Зазначимо, що в їхніх працях, приміром, 20–30-х років XX ст., переконливо простежується бажання зазирнути вище, ніж на той час дозволяли наявні літальні апарати – проєкти випереджали розвиток технологічних можливостей. Тодішній старійшина космічних справ К. Ціолковський оптимістично зазначав: *«Земля – колиска людства, але не можна вічно жити в колисці»* [17, с. 10].

Тож послідовники таких ідей розвивали теоретичні погляди, деталізували особливості можливих польотів і навіть пропонували варіанти певних апаратів. Заради справедливості треба відзначити, що 1878 р. харківський вчений М. Пильчиков обґрунтував і запропонував ідею висотного скафандра [11]. А у 1881 р. за кілька днів до страти за замах на імператора Олександра II ув’язнений народоволець М. Кибальчич створив креслення реактивного літального апарата, здатного до польотів у космос (цю працю оприлюднили тільки 1918 р.) [5].

Одначе творчий дух наших людей неспинний. У 1929 р. ще один космічний магеллан – Ю. Кондратюк (Олександр Шаргей) – власним коштом видав фундаментальну працю «Завоювання міжпланетних просторів» [6]. У ній обґрунтовано фундаментальні принципи космічної техніки: використання багатоступеневих ракет, розрахунки оптимальних

траєкторій польотів, ідею створення орбітальних баз для міжпланетних експедицій, а також концепцію «гравітаційного маневру». Це одна з перших ґрунтовних і системних праць з космонавтики, що випередила час. Її ідеї стали основою сучасної космічної навігації і є історичним українським науковим спадком. Примітно, що викладені автором схеми польоту на Місяць через орбітальний модуль, пізніше реалізовані в програмі «Аполлон» [9; 18].

Етапи розвитку наукових і навіть на ті часи трохи фантастичних ідей відображені в різних джерелах тодішньої і наступної пори. Однак нашу принципову цікавість викликає період від 50-х років XX ст. і донині, оскільки Харкову в цей проміжок випало стати втілювачем ідей згаданих учених. У таких книгах, як збірник статей «Космос і люди» і «Харків космічний» (автор М. С. Ларьков) [7; 8] розповідається, з чого починалася космічна історія харків'ян, якими мотивами керувалися науковці, конструктори й інженери, долучаючись до створення деталей, вузлів, станцій управління космічних апаратів. Першою ластівкою, за спогадами М. С. Ларькова, учасника багатьох випробувань ракетно-космічної техніки, стала партія бортових приладів і кабельної мережі для ракети Р-1(8А11), створених на харківському заводі № 897 (пізніше «Комунар») [8, с. 27].

«Історія будь-якої ідеї – це майже завжди історія багатьох речей і подій», – зазначав свого часу популяризатор науки й один із ранніх ідеологів космічних польотів німецько-американський інженер Віллі Лей (1906–1969) [19].

Ще один з епізодів також стосується історичних етапів розвитку Харкова-космічного. Внаслідок аварії на космодромі Байконур в жовтні

1960 р. загинув Головний конструктор систем керування ОКБ-692 Б. М. Конопльов. Саме очолюване ним підприємство створювало системи керування для ракети Р-16. Проєкт треба було продовжувати. І до Харкова було відряджено відомого тільки у професійних колах творців управління для ракетно-космічної техніки В. Г. Сергєєва. Посаду Головного конструктора тодішнього ОКБ 692 (пізніше «Хартрон») він обіймав протягом 26 років. За цей час ОКБ створив десятки різних систем управління для космічної техніки. І завдяки цьому та роботі інших підприємств для космічної галузі Харків стали по праву називати мозковим центром таких розробок.

Час виштовхував на гребінь подій багатьох талановитих і діяльних людей. Країна упевнено відкрила нову сторінку космічної ери. Цей період детально описаний у ґрунтовній праці «Хроніка дат і подій 1959–2012 рр.» [15]. Кожен новий етап розробок техніки обумовлений відповідними науковими працями вчених. Установи та виробничі підрозділи виготовляли унікальні зразки приладів, деталей і вузлів.

Показовим є і такий факт: у довоєнні й раніші роки на Слобідщині функціонувало понад 30 науково-конструкторських, виробничих комплексів, у яких працювало майже 120 тис. співробітників. Цікаво, що важливу місію в цих справах відігравали заклади вищої освіти. Зокрема це стосується ХАІ (нині НАУ «ХАІ»). Понад 30 років тут видається журнал «Авіаційно-космічна техніка і технологія», у якому висвітлюються питання розвитку конструювання та технологій авіаційно-космічної техніки, систем управління, радіоелектронних систем. Серед публікацій привертають увагу статті групи науковців – А. О. Ларін, М. В. Гутник та ін., а також статті в спеціальних випусках часопису за редакцією

С. В. Єпіфанова 2023–2024 рр., присвячені системам управління та інформаційним технологіям у космічній галузі. А нещодавно доцент кафедри композиційних конструкцій та авіаційного матеріалознавства Ф. М. Гагауз та його колега О. Г. Попова провели показові вебінари «Композитні матеріали в космосі» (18.03.2026 р.: Ф. М. Гагауз «Нові матеріали в авіації та космонавтиці»; 22.04.2026 р.: О. Г. Попова «Нові матеріали в авіації та космонавтиці – продовження тематики про розвиток космічного матеріалознавства»). Заявлено про ще одну сходинку для створення новітніх зразків техніки.

Упродовж ряду десятиліть ХАІ виступає науковим центром**,** що забезпечує теоретичні та прикладні дослідження для космічних проєктів. Харківські підприємства реалізовували ці напрацювання для створення різних систем. Можна з упевненістю сказати, що заклад став одним з важливих центрів розвитку вітчизняної космічної техніки. У цьому контексті актуальним став виступ у лютому 2026 р. під час засідання президії НАН України члена-кореспондента В. С. Харченка з приводу наукових засад, методів створення та впровадження гарантоздатних систем ШІ для керування об’єктами критичної інфраструктури, а також безпілотними комплексами [14].

До цієї когорти також належать науковці НТУ «ХПІ» та ХНУРЕ. З великою пошаною укладачі І. М. Шептун та В. В. Конотоп у книзі «Наші зоряні роки 1930–1996» [10] розповідають про діяльність Науково-дослідного та проєктно-конструкторського інституту «Молнія» – підрозділу НТУ «ХПІ». Йдеться про створення високовольтної техніки, а також сфери обробки рідких і рідкотекучих харчових продуктів. Досліджувались імпульсні впливи і на їх підставі розроблено промисловий

спосіб одержання озону, спосіб знезараження токсичних газових викидів. Не випадково експериментальні установки «Молнії» увійшли до міжнародного реєстру унікального випробувального устаткування, де посідають гідне місце поряд з установками США, Німеччини, Франції. Космічні проблеми тісно пов’язані з земними, а їх вирішення приходить на виручку багатьом дослідникам.

У руслі тематики наукових досліджень, розробок на особливу увагу заслуговує збірник «Космос і люди» [7], до якого включені актуальні статті всеукраїнського науково-популярного журналу «UNIVERSITATES». Публікації стосуються зокрема еволюції поглядів харківських науковців та колег з інших регіонів на майбутнє космонавтики, екології атмосфери і геокосмосу, а також досліджень небесних тіл, які все частіше потрапляють в поле зору, – астероїдів.

Чим частіше люди вирушають до космічних просторів, тим більше проблем виникає й на Землі. Настав час загострити увагу на збереженні екології атмосфери, виявляти впливи космічної діяльності землян. З цього приводу не можна оминути увагою деякі факти, наведені в статті професора кафедри радіофізики ХНУ ім. В. Каразіна, лауреата Державної премії УРСР у галузі науки і техніки Л. Ф. Черногора [7, с. 144–149]. Він акцентує увагу саме на впливах людської діяльності на навколоземних орбітах. На час написання цього повідомлення на різних орбітах перебувало майже 60 об’єктів з ядерними і радіоізотопними установками. Їх падіння на Землю, як і всіх космічних апаратів, пов’язане із серйозними екологічними наслідками.

Або взяти до уваги космічне сміття. Воно не тільки заважає працювати новітнім апаратам, а й при його подрібненні відбуваються

вибухи. Наслідки їх ще очікують окремих досліджень. Кожен старт космічного апарата спричиняє пошкодження озонового шару навколо Землі, який захищає її від згубного впливу сонячної ультрафіолетової радіації. Уже встановлено: зменшення загального вмісту озону на 10% призводить до збільшення на 20% кількості захворювань людей на рак шкіри. Про це знає невелике коло спеціалістів, а решта бідкається з приводу поширення зовсім незрозумілих явищ у своїх організмах. Як не знають про величезну кількість тонн хлору, оксидів азоту, які щорічно інжектуються в атмосферу при старті ракет. З настанням військових конфліктів ці викиди збільшуються в рази. Куди вже далі?! Чи ми справді заради примхів деяких політиків готові наближатися до самогубства?

До речі, з приводу цього красномовними є думки астронавта NASA Рона Гарана. На борту міжнародної космічної станції він провів 178 днів, а коли повернувся на землю, під час зустрічі з представниками ЗМІ заявив, що «людство живе у брехні». Мандрівник розповів, що з космосу чітко видно неймовірну крихкість систем життєзабезпечення Землі, її атмосфери, океанів і біосфери. Однак сучасне суспільство продовжує ставитися до природи як до невичерпного ресурсу для обслуговування глобальної економіки. Слова дослідника *«Нам потрібно перейти від мислення "економіка, суспільство, планета" до парадигми "планета, суспільство, економіка". Лише тоді ми зможемо продовжити наш еволюційний процес*», – наводить Дар’я Щербак у повідомленні ТСН України від 6 березня 2026 р.

Отже, поряд з підкоренням космічних просторів постають питання: якою ціною ми за це розплачуємося, чи існують альтернативні підходи до спілкування зі Всесвітом?

Харківські науковці системно працюють над узгодженням питань екологічної безпеки з космічними дослідженнями. Їхні праці охоплюють моніторинг атмосфери, охорону біоресурсів, аналіз впливу космічних апаратів на довкілля. Найбільш показові приклади – публікації Каразінського університету та Українського науково-дослідного інституту екологічних проблем, а також матеріали міжнародних конференцій, що проходять у Харкові.

Так, XVII Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (Харків, 2024) була присвячена охороні атмосферного повітря та водних об’єктів; моніторингу навколишнього середовища, а також забезпеченню радіоекологічної безпеки [3]. Ці питання активно досліджують у спеціальному часописі ХНУ ім. В. Н. Каразіна «Людина і довкілля. Проблеми неоекології» (з ними можна ознайомитися на сайті «Наукова періодика Каразінського університету»). Тут йдеться про теоретичні питання екології та неоекології, екологічні та географічні дослідження компонентів довкілля, екології людини, нових інформаційних технологій, геоекологічного моніторингу, про результати подолання екологічних і географічних проблем. Для підготовки фахівців створено кафедру фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології, так що питання підкорення космосу стоять поряд із пошуком способів уникнення негативних наслідків таких процесів.

Ще один напрям творчих розробок – ліквідація сміття на космічних орбітах. Останнім часом ця проблема набула значної актуальності. Її вирішенням займаються спеціалісти НАУ «ХАІ», про що повідомлялося під час однієї з недавніх науково-практичних конференцій на базі відділу науково-інформаційного забезпечення інноваційних процесів ХДНБ ім. В. Г. Короленка. Фахівці вишу розробляють проєкти спеціальних апаратів для «утилізації» решток різної техніки, частинок діяльності людини на навколоземних орбітах. Пророкують, за такими технологіями – велике майбутнє. І на згадуваній конференції прозвучали нові повідомлення про розвиток «космічної санітарії». Приємно, що до важливої справи долучаються нові покоління дослідників з ХАІ, які ще зі студентської лави цікавляться компоновкою та використанням орбітальних безпілотних літальних апаратів з еколого-очисною метою.

У наукових та науково-популярних виданнях широко висвітлюється діяльність видатних учених і конструкторів, пов’язаних з харківською науковою школою. Дослідницькі праці, мемуари та історико-технічні розвідки підкреслюють, що саме українські інженерні та наукові школи забезпечили формування багатьох концепцій ракетної техніки, систем управління польотами і бортової електроніки. Особливу увагу в літературі приділено співпраці харківських учених із такими підприємствами та науковими установами, як конструкторські бюро «Південне» та «Хартрон», колективи яких брали участь у створенні систем управління ракетами та космічними апаратами.

Науково-популярні видання, біографічні дослідження та історичні нариси дозволяють ширшій авдиторії ознайомитися з роллю харківських інженерів у створенні космічних програм, включно з розробкою ракет-

носіїв, систем навігації та елементів космічної інфраструктури. Аналіз цих джерел підтверджує, що Харків був і є одним із ключових інтелектуальних центрів формування ракетно-космічної науки на теренах Східної Європи у другій половині XX – на початку XXI ст.

Це також засвідчено в яскравих презентаційних фотоальбомах «Україна космічна» Національного космічного агентства України [13]; «Видатні діячі ракетно-космічної України» [1]. Довідкові видання присвячено видатним діячам, життя або діяльність яких пов’язані з Україною, Харковом та які зробили значний внесок у розвиток космічних досліджень, ракетобудування і космонавтики. Йдеться, зокрема, про академіків Г. Ф. Проскуру та М. П. Барабашова, а також Ю. В. Кондратюка (Шаргея), Г. Е. Лангемака, Г. Є. Лозино-Лозинського та багатьох інших. Публікації наочно підтверджують значимість постатей згаданих та інших діячів з космічним прицілом. І є гарним підґрунтям для рівняння новим поколінням учених.

Такою ж потужною основою є науково-популярна література для дітей та юнацтва. Автори таких творів розповідають про довколаземний простір, можливості людей, що кинули виклик нескінченним просторам і все-таки чогось досягли. Принагідно слід звернути увагу на видання «Цвєтков В. І. Зоряне небо. Галактики, сузір`я, метеорити» [16]. Достовірні наукові факти, яскраві реалістичні ілюстрації та світлини, захопливі подробиці допоможуть довідатись якомога більше про інші світи, краще пізнати нашу ніби знайому, але таку загадкову Землю.

Пропагуванню знань про космос у попередні роки присвятила чимало уваги директорка харківського Музею-планетарію «Харків космічний» Г. В. Железняк. Галина Василівна є авторкою ілюстрованого

енциклопедичного видання «Найцікавіше про космос у запитаннях і відповідях» [4]. Тут йдеться про космічних сусідів землян: галактики, осередки Всесвіту, Сонячну систему і те, що стосується нашого Ярила та його впливу на земне життя. Розповідається про парад планет і про основну будову деяких з них, а також про те, як земляни досліджували різні планети і використовували інформацію для організації польотів космічних кораблів з людьми на борту.

Популяризації знань серед юнацтва присвячена «Дитяча енциклопедія космосу» (автор Сперoу Джайлс, переклад з англійської) [12]. Допитливі читачі матимуть змогу ознайомитись з різними поняттями стосовно космічної сфери: про Сонячну систему, зірки, про перших людей у космосі і навіть про майбутнє космічних станцій. В енциклопедії вміщено словник з тлумаченням часто вживаних понять, а також алфавітний покажчик статей.

Крім наведених прикладів науково-популярної літератури, читачі можуть ознайомитися ще з одним напрямом донесення цікавих знань. У фонді ХДНБ ім. В. Короленка є яскрава книга-спогади одного з найдосвідченіших астронавтів – Кріса Гетфілда. Він розповідає, як з випускника Школи льотчиків ВПС США доріс до командира МКС і провів у космосі майже 4000 годин [2]. Спираючись на власний досвід, автор показує, як зробити неможливе можливим. Яскраві та незвичайні ідеї, які викладає Кріс у своїх історіях, навчать молодь мислити як астронавт і можуть назавжди змінити погляд на життя на Землі – особливо на власне.

Ми стали більш обізнаними, маємо певні застереження з приводу бездумного ставлення до земної атмосфери. Такі книги з юнацьких літ

привчають юних читачів до вдумливого ставлення до природи, довкілля і, безумовно, спонукають помріяти, уявити себе всередині космоплана… Книги захоплюють своєю незвичністю, а отже, й до певної міри формують нові покоління мрійників. А можливо, й тих, хто мрії втілюватиме в нових проєктах.

Таким чином, наукові та науково-популярні літературні джерела не лише документують внесок харківських учених і конструкторів у розвиток космонавтики, але й сприяють формуванню історичної пам’яті про роль української науки у світовому освоєнні космічного простору. Створюють підґрунтя для подальшого розвитку техніки.

У зв’язку з цим варто привернути увагу до певних винаходів наших земляків, на які одержано патенти, тобто є певним підтвердженням вищевикладеного. Так, у ХНУ ім. В. Каразіна група винахідників – Ф. М. Андрєєв, А. В. Статкус та їхні колеги – розробили пристрій фільтрації параметрів траєкторії балістичної цілі та визначення елементів орбіти (патент України 120227 від 25.10.2017 р.).

Утилізацію космічного сміття крім ХАІ досліджують і в ХНАДУ. Тут винахідник А. І. Левтеров запропонував свій варіант і одержав патент України 118505 від 10.08.2017 р. А в Харківському військовому університеті група винахідників (М. Б. Козелкова та ін.) запропонувала пристрій оптимального супроводу космічних апаратів (патент України 65938 від 15.04.2004 р.)

Навіть кілька таких прикладів свідчать про розлогі напрямки діяльності харківських учених зі створення новітнього інструментарію забезпечення польотів і досліджень космічних просторів. І ця робота триває, оновлюється разом з документами на винаходи та літературою про

них. На неї не впливають навіть воєнні загрози, адже відомо, що війни все одно закінчуються, а допитливість людини, зокрема до космічних просторів, лише зростає. Звідти людство може черпати ідеї не тільки щодо покращення життя на власній планеті, а й продовжувати дбати про новітні польоти, експедиції до інших планет, щоб розширити ареал свого існування. Тому й надалі науково-теоретичні розробки, розвиток космічної проблематики в спеціальній літературі посідатиме особливе місце. Харківські науковці це сповна усвідомлюють і залучають нових авторів, опікуються підготовкою кадрів. І цей процес є неспинним.

Список бібліографічних посилань

1. Видатні діячі ракетно-космічної України. Київ : Спейс-Інформ, 2015. 172 с.
2. Гетфілд Кріс. Посібник астронавта з життя на Землі. Харків : Жорж, 2019. 387 с.
3. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення : збірник наукових статей XVII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 19–20 вересня 2024 р.) / УКРНДІЕП. Харків, 2024. 446 с.
4. Железняк Г. В. Найцікавіше про космос у запитаннях і відповідях : для дітей середнього та старшого шкільного віку. Харків : Торнадо, 2007. 96 с. : іл.
5. Кибальчич Микола Іванович. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Кибальчич_Микола_Іванович (дата звернення: 18.06.2026).
6. Кондратюк Ю. Завоювання міжплянетних просторів. 3-тє видання / Товариство українських інженерів Америки. Нью-Йорк, 1972. 79 с. Електронний аналог: URL: https://diasporiana.org.ua/wp-content/uploads/books/1581/file.pdf (дата звернення: 18.06.2026).
7. Космос і люди : збірник статей за матеріалами журналу «UNIVERSITATES». Харків : Поліарт, 2011. 312 с.

8. Ларьков Н. С. Харьков космический. Харьков : Консум, 2006. 192 с.

9. Марцинів Ю. Космічна програма NASA «Аполлон»: анатомія тріумфу та повна хронологія. URL: https://drukarnia.com.ua/articles/kosmichna-programa-nasa-apollon-anatomiya-triumfu-ta-povna-khronologiya-JrHTZ (дата звернення: 16.06.2026).

10. Наши звездные годы 1930–1996 / авторы-составители: И. М. Шептун и др. Харьков : Колорит, 2012. 232 с.

11. Пильчиков М. Д. (1878). Обґрунтування ідеї створення космічного скафандра // Історія науки і техніки в Україні : збірник наукових праць. Харків, 2008. С. 45–47.

12. Спероу Джайлс. Дитяча енциклопедія космосу. Харків : Віват, 2018. 128 с.

13. Україна космічна : фотоальбом / Національне космічне агентство України. Київ : Спейс-Інформ, 2008. 336 с.

14. Харченко В. Чому ШІ відключає гальма // Світ : всеукраїнська газета. 2026. № 5.

15. Хроника дат и событий : 1959–2012 гг. / автор-составитель В. И. Котович. Харьков, 2012. 259 с.

16. Цвєтков В. І. Зоряне небо. Галактики, сузір`я, метеорити. Харків : Клуб сімейного дозвілля, 2016. 63 с.

17. Циолковский К. Э. Воля Вселенной: Неизвестные разумные силы. Калуга : Издание автора, 1928. 23 с.

18. Demchenko M. Kondratyuk Route (Lunar Orbit Rendezvous) – Apollo Lunar Program. URL: https://www.apollo-program.org (дата звернення: 16.06.2026).

19. Ley Willy. Space, Past and Future: Rockets, Missiles, and Men in Space. Fourth edition. New York : Viking, 1968. XVII + 557 pp. : ill.

Наукове видання

АЕРОКОСМІЧНІ ОБРІЇ УКРАЇНИ:
ІСТОРІЯ, НАУКА, ІННОВАЦІЇ

Матеріали Всеукраїнської
науково-практичної конференції

м. Харків, 14 травня 2026 року

Упорядник **Прохорова Ганна Валеріївна**

Відповідальний за випуск *Наталя Петренко*
Редактор *Світлана Миценко*

Формат 60×90/8. Ум. друк. арк. 22,37. Обл.-вид. арк. 6,5.
Харківська державна наукова бібліотека ім. В. Г. Короленка
пров. Короленка, 18, м. Харків, 61005, Україна
E-mail: info@korolenko.kharkov.com